

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

THÈSE
POUR
LE DOCTORAT EN MÉDECINE

RECHERCHES
SUR LA RADIOACTIVITÉ DES EAUX
de Bagnoles-de-l'Orne

PAR

Pierre LOISEL

PRÉPARATEUR DE PHYSIQUE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE

Né à Paris le 27 Juin 1892

Président de Thèse : M. le Professeur ANDRÉ BROCA

“ L'EXPANSION SCIENTIFIQUE
FRANÇAISE ”

— 23, Rue du Cherche-Midi — PARIS —

1922

134

134

THÈSE
POUR
LE DOCTORAT

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

THÈSE

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

RECHERCHES SUR LA RADIOACTIVITÉ DES EAUX de Bagnoles-de-l'Orne

PAR

Pierre LOISEL

PRÉPARATEUR DE PHYSIQUE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE

Né à Paris le 27 Juin 1892

Président de Thèse : M. le Professeur ANDRÉ BROCA

“ L'EXPANSION SCIENTIFIQUE
FRANÇAISE ”

— 23, Rue du Cherche-Midi — PARIS —

1922



FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

LE DOYEN : M. ROGER

PROFESSEURS : MM.

Anatomie.....	NICOLAS.
Anatomie médico-chirurgicale.....	CUNÉO.
Physiologie.....	Ch. RICHET.
Physique médicale.....	André BROCA.
Chimie organique et chimie générale.....	DESGREZ.
Bactériologie.....	BEZANÇON.
Parasitologie et histoire naturelle médicale.....	BRUMPT.
Pathologie et thérapeutique générales.....	Marcel LABBÉ.
Pathologie médicale.....	RENON.
Pathologie chirurgicale.....	LECÈNE.
Anatomie pathologique.....	LETULLE.
Histologie.....	PRENANT.
Pharmacologie et matière médicale.....	POUCHET.
Thérapeutique.....	CARNOT.
Hygiène.....	BERNARD.
Médecine légale.....	BALTHAZARD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie.....	MÉNÉTRIÉR.
Pathologie expérimentale et comparée.....	ROGER.
Clinique médicale.....	ACHARD.
	WIDAL.
	GILBERT.
	CHAUFFARD.
Hygiène et clinique de la première enfance.....	MARFAN.
Clinique des maladies des enfants.....	NOBÉCOURT.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale.....	N...
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.....	JEANSELME.
Clinique des maladies du système nerveux.....	P. MARIE.
Clinique des maladies contagieuses.....	TEISSIER.
Clinique chirurgicale.....	DELBET.
	LEJARS.
	HARTMANN.
Clinique ophtalmologique.....	GOSSET.
Clinique des maladies des voies urinaires.....	DE LAPERSONNE.
Clinique d'accouchements.....	LEGUEU.
	BAR.
	COUVELAIRE.
Clinique gynécologique.....	BRINDEAU.
Clinique chirurgicale infantile.....	J.-L. FAURE.
Clinique thérapeutique.....	BROCA Auguste.
Clinique oto-rhino-laryngologique.....	VAQUEZ.
Clinique thérapeutique chirurgicale.....	SEBILEAU.
Clinique prophédeutique.....	DUVAL.
	SERGEANT.

AGRÉGÉS EN EXERCICE :

MM.			
ABRAMI.	DESMAREST.	LANGLOIS.	PHILIBERT.
AGLAVE.	DUVOIR.	LARDENNOIS.	RATHERY.
BASSET.	FISSINGER.	LE LORIER.	REITTERER.
BAUDOUIN.	GARNIER.	LEMIERRE.	RIBIERRE.
BLANCHETIÈRE	GOUGEROT.	LEQUEUX.	RICHAUD.
BRANCA.	GRÉGOIRE.	LEREBoullet.	ROUSSY.
CAMUS.	GUENIOT.	LERI.	ROUVIÈRE.
CHAMPY.	GUILLAIN.	LÉVY-SOLAL.	SCHWARTZ.
CHEVASSU.	GUILLEMINOT.	MATHIEU.	TANON.
CHIRAY.	HEITZ-BOYER.	METZGER.	TERRIEN.
CLERC.	JOYEUX.	MOCQUOT.	TIFFENEAU.
DEBRÉ.	LABBÉ (H.).	MULON.	VILLARET.
	LAIGNEL-LAVASTINE.	OKINCZYC.	

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'École a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MA MERE

Mon aide dévouée à la Gueronnière

A MES MAITRES

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR ANDRÉ BROCA

Membre de l'Académie de Médecine

Chevalier de la Légion d'Honneur

Hommage de respectueuse affection

DU MÊME AUTEUR :

Sur la radioactivité de l'eau de la Grande Source de Bagnoles-de-l'Orne et ses variations. *Comptes rendus*, 1919.

Recherche des corps radioactifs dans les eaux minérales. *Journal de Radiologie et d'Electrologie*, 1920.

Sur les variations de la radioactivité des sources de Bagnoles-de-l'Orne et leur relation avec la pluie. *Comptes rendus*, 1920.

Méthode rapide de mesure de la déperdition d'un électroscope en vue du dosage de l'émanation du Radium. *Comptes rendus*, 1921.

Sur la radioactivité des sources de la région de Bagnoles-de-l'Orne. *Comptes rendus*, 1921.

Sur l'existence d'une nouvelle émanation radioactive dans les sources de Bagnoles-de-l'Orne et des environs. *Compte rendus*, 1921.

Sur la radioactivité des eaux du Mont-Dore (en collaboration avec le D^r CASTELNAU). *Comptes rendus*, 1921.

Sur l'action des émanations à vie courte, émanation du Thorium et de l'Actinium, au cours des cures thermales (en collaboration avec le D^r CASTELNAU). *Bull. de l'Acad. de Méd.* 1922.

INTRODUCTION

S'il est en France une station dont les indications parfaitement définies ont justifié la renommée, c'est Bagnoles-de-l'Orne. Les travaux cliniques, commencés vers 1880 par le Docteur JOUBERT et continués sans interruption par les médecins qui lui ont succédé à la station, ont montré l'action spécifique, élective des eaux de la Grande Source dans la cure des suites de phlébites et ont assuré à ce beau pays une réputation universelle.

Mais si la clinique a pu asseoir solidement les bases de la thérapeutique Bagnolaise, la science est loin de pouvoir expliquer les effets merveilleux que médecins et malades sont à même d'observer et la phrase qu'écrivait le Docteur JOUBERT en 1890 : « Il est une maladie que nous traitons victorieusement à Bagnoles-de-l'Orne sans nous rendre un compte exact du *modus faciendi*, c'est la phlébite », est malheureusement toujours vraie. C'est que la composition chimique de l'eau de la Grande Source ne peut en aucune façon expliquer l'action des bains.

La plus faiblement minéralisée de toutes les eaux françaises, de salure banale, où domine surtout la silice, la Grande Source ne présente aucune caractéristique chimique qui permette même d'entrevoir la cause de son action sur les muscles lisses des petits vaisseaux.

C'est donc à la physique qu'il faut s'adresser. Les découvertes faites dans ce domaine au cours de ces vingt dernières années et dont la radioactivité constitue le joyau permettront peut-être par de patientes études d'arriver à l'explication tant désirée. Ce travail consacré à la radioactivité des sources de Bagnoles est l'exposé de quatre ans de recherches. Car il ne faut pas croire qu'il suffise de doser une fois le radium ou son émanation dans une eau pour connaître la radioactivité de cette eau. Il faut étudier une source longuement car sa radioactivité varie et varie quelquefois dans des limites considérables. L'intérêt de cette étude est double. Au point de vue scientifique, elle permet (ou plutôt permettra lorsque ces recherches auront été faites sur un grand nombre de sources) de connaître l'origine des sources et les rapports des *filons* d'eaux thermales avec les terrains qu'ils traversent et peut-être la teneur en radium de ces derniers. Au point de vue clinique son intérêt est tout aussi grand car c'est un fait d'observation que les effets des eaux minérales sont différents suivant les jours. A ce sujet, en ce qui concerne Bagnoles, les avis des confrères sont partagés car les variations des effets cliniques, si tant est

qu'elles existent, sont très faibles et soumises dans leur détermination à des causes d'erreur importantes ; c'est un point qu'au cours de ma carrière je m'efforcerai d'approfondir. Mais, à d'autres stations, l'effet est beaucoup plus net. Au Mont-Dore, par exemple, les variations de l'action thérapeutique des eaux suivant les jours est un fait bien connu des médecins de là-bas et connu depuis longtemps puisque, dès 1817, Michel BERTRAND avait été à même de l'observer. Quelle est la part de la radioactivité dans ces variations ? La question est difficile à résoudre et la réponse ne pourra être donnée qu'après que des années de pratique nous auront permis de réunir des observations en nombre suffisant. Mais, si le problème est difficile, il n'est pas insoluble, dans le cas de Bagnoles tout au moins, car la variation suit certaines lois simples comme nous le verrons par la suite.

PREMIÈRE PARTIE

La radioactivité des eaux minérales

CHAPITRE PREMIER

Quelques propriétés des corps radioactifs

Avant de commencer l'histoire de la radioactivité des eaux minérales, il est, je crois, indispensable de rappeler brièvement les principales caractéristiques des corps radioactifs et les méthodes qui permettent de les étudier.

Un corps radioactif diffère des corps simples que nous connaissons par deux propriétés fondamentales :

1° C'est un corps qui émet un rayonnement, d'où son étymologie, rayonnement matériel, rayons α , atomes d'hélium chargés positivement, rayons β ou électrons, chargés négativement, identiques aux corpuscules repoussés de la cathode du tube de CROOKES, rayonnement de nature vibratoire,

rayons γ , produits par la vibration de l'éther, engendrés lors de l'explosion de l'atome et identiques à la lumière et aux rayons X dont ils ne diffèrent que par leur fréquence beaucoup plus grande ;

2° C'est un corps dont certains atomes explosent et explosent tout à fait au hasard.

C'est donc un corps qui se détruit progressivement. Et la loi de cette destruction, loi du hasard, est telle que le nombre d'atomes détruits par seconde est proportionnel aux nombres d'atomes présents.

$$dN = -\lambda N dt$$

Le coefficient de proportionnalité λ , c'est la *constante radioactive* qui caractérise chaque corps.

Le calcul montre alors que la substance radioactive se détruit suivant une loi exponentielle et que, pendant le même intervalle de temps, une même fraction de la quantité présente au début de chaque intervalle disparaît.

En pratique, on prend comme caractéristique secondaire d'un corps radioactif le temps que celui-ci met à se détruire de moitié, c'est la période T (1).

(1) On a en intégrant

$$\begin{aligned} \frac{dN}{N} &= -\lambda dt + N_0 \\ N &= N_0 e^{-\lambda t} \end{aligned}$$

On a également

$$\text{Log } N = \text{Log } N_0 - \lambda t \text{ Log } e$$

équation d'une droite si l'on porte Log N en ordonnées

On a enfin

$$T = \frac{\text{Log } 2}{\lambda \text{ Log } e} = 0,69315$$

Formule dans laquelle T représente la période

Donc un corps radioactif est un corps qui rayonne ; ce rayonnement se révèle par trois propriétés :

a) Il rend fluorescent un écran de sulfure de zinc ou de platinocyanure de baryum, d'une façon continue ou par scintillations, suivant que le nombre d'atomes actifs présents est plus ou moins élevé :

b) Il impressionne les plaques photographiques ;

c) Il rend l'air conducteur de l'électricité ;

C'est cette dernière propriété qui doit nous retenir

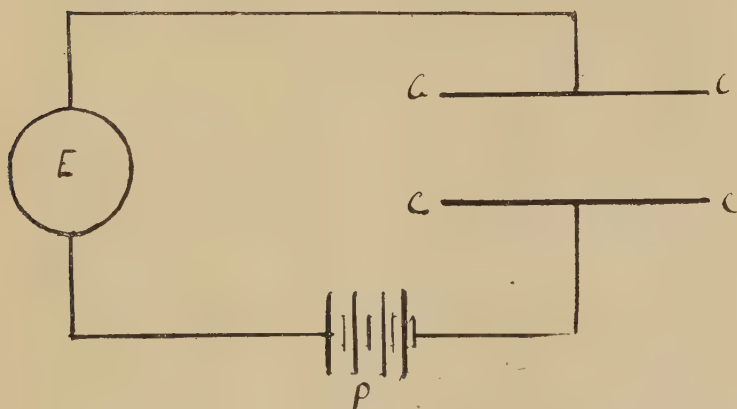


Fig. 1

le plus, car c'est sur elle que sont basées toutes les méthodes de mesures.

On sait que normalement un gaz n'est pas conducteur de l'électricité ; formons un circuit de la façon suivante (figure 1) : un condensateur formé de deux lames parallèles, plongé dans l'air et ses deux armatures réunies par un fil conducteur, dans ce circuit, un électromètre et une batterie de piles.

Quelle que soit la différence de potentiel entre les deux armatures de notre condensateur, notre électro-

mètre n'enregistre aucun courant, mais vient-on à en approcher une ampoule d'émanation ou un tube à rayons X, le spot de l'électromètre se déplace sur l'échelle. L'air entre les armatures sous l'action du rayonnement est devenu conducteur de l'électricité. Cette conductibilité est une *conductibilité ionique*. Les molécules gazeuses se sont électrisées les unes positivement, les autres négativement, et sont alors sous l'action des forces électriques attirées respectivement vers le plateau du condensateur chargé du signe contraire au leur ; il y a transport de l'électricité tant qu'agit la cause ionisante.

Le courant d'ionisation n'est proportionnel à la cause qui le produit que dans des conditions bien déterminées. Faisons agir sur l'air compris entre les armatures de notre condensateur un rayonnement ionisant quelconque en appliquant aux armatures seulement une faible différence de potentiel.

Qu'arrivera-t-il ? Le nombre d'ions positifs ou négatifs sera bien proportionnel au rayonnement, mais, la chute de potentiel par centimètre étant faible, la force appliquée à un ion positif par exemple sera minime également.

Si un ion négatif passe dans son voisinage, l'attraction subie par la charge positive du premier pourra surpasser la force due au champ et nos deux ions se neutraliseront, *se recombineront*, et par conséquent le courant mesuré à notre électromètre sera inférieur au courant que le rayonnement ionisant provoquerait normalement.

D'où la nécessité lorsqu'on veut au moyen de l'ionisation mesurer l'intensité d'un rayonnement, d'appliquer aux armatures du condensateur une différence de potentiel telle que tous les ions formés soient soumis de la part du champ à une force bien supérieure à celle qui naît par l'action réciproque de deux charges de signes opposés, *de façon à obtenir le courant de saturation.*

Ce courant de saturation se mesure au moyen d'électromètres ou plus simplement d'électroscopes.

Les électroscopes utilisés en radioactivité possèdent généralement une seule feuille d'or ou d'aluminium battu. Cette feuille, lorsqu'on la charge, dévie plus ou moins de la verticale en même temps que les parois de l'appareil prennent une charge contraire à la sienne, de sorte qu'entre la feuille et la cage existe une différence de potentiel.

Vient-on à ioniser l'air environnant une tige chargée reliée à la feuille, les ions formés viennent décharger cette tige et la différence de potentiel entre la feuille et la cage diminue, ce que traduit la chute de la feuille indicatrice.

Au moyen d'une échelle quelconque on repère les diverses positions de la feuille et si l'on gradue cette échelle en volts, on peut connaître l'intensité du courant d'ionisation. On a en effet :

$$I = C \frac{\delta V}{\delta \alpha} \cdot \frac{\delta \alpha}{\delta t}$$

α étant l'angle de déviation de la feuille par rapport à sa position d'équilibre.

Cette formule se traduit plus simplement pour les petites déviations, par l'expression

$$I = C \frac{\Delta V}{\Delta t}.$$

C est la capacité, ΔV est la différence de potentiel entre deux divisions de l'échelle, Δt le temps de chute entre les deux mêmes divisions.

La radioactivité appartient à trois grandes familles de corps, la famille du *radium*, la famille du *thorium* et la famille de l'*actinium* ; le radium et probablement l'*actinium* dérivent d'un parent commun, l'*uranium*, corps avec lequel pour la première fois, Henri BECQUEREL découvrit la radioactivité en 1896.

Les corps radioactifs forment en effet de véritables familles, chaque corps dérivant de l'autre de façon bien déterminée et donnant naissance à un nouveau corps, également parfaitement défini. Parmi ces corps certains sont gazeux et portent le nom d'émanation. Leurs parents, uranium, radium, thorium, actinium, possèdent les poids atomiques les plus élevés que l'on connaisse et occupent dans le tableau périodique des éléments la dernière rangée. En se désintégrant, ils donnent naissance à des corps de poids atomiques plus faibles, ce qui se comprend aisément, puisque par l'expulsion d'un rayon α , chaque atome radioactif perd un élément qui, une fois sa charge perdue, devient un atome d'hélium, et l'expérience montre que les poids atomiques successifs

peuvent se calculer en fonction les uns des autres en tenant compte de cette expulsion d'hélium.

Tous les corps radioactifs semblent avoir un descendant commun, *le plomb*, inactif par lui-même, métal que des recherches récentes tendent à faire considérer comme un mélange de corps de différents poids atomiques indiscernables chimiquement, *un mélange d'isotopes*.

On peut pratiquement au point de vue hydrologique, former dans chaque famille deux groupes ; un premier groupe est constitué par les corps à période plus ou moins longue, corps qui ont évolué dans les roches aux cours des périodes géologiques et dont le terme ultime donne dans chaque série naissance à une émanation.

Le second groupe dérive des émanations, comprend des corps dont la période est beaucoup plus courte et constitue la radioactivité induite dont les variations d'effet ionisant caractérisent chaque émanation.

Bien qu'artificielle, cette division nous apparaît commode pour traiter le sujet qui nous occupe car le plus souvent on ne trouve dans les eaux minérales, que les émanations et quelquefois les corps dont ces émanations dérivent directement, radium, thorium X et actinium X.

Dans le tableau ci-joint se trouvent groupés tous les éléments composant les trois familles dans leur ordre de filiation et de telle sorte que les produits ayant mêmes propriétés chimiques, soient sur une même ligne horizontale.

TABEAU I

FAMILLES DE L'URANIUM DU RADIUM ET DE L'ACTINIUM			FAMILLE DU THORIUM	Isotopes
Ur Y	Uranium I	5.10 ⁹ ans.		Ur
β ↓	α ↓			
	Uranium X ₁	24.6 j (1)	Thorium 3.10 ¹⁰ ans	Th
	β ↙ ? ↘		α ↓	
Uranium X ₂ 1.2 min	Proactinium 10 ⁴ ans		Mesoth I 5.5 ans	Ra
β ↓	β ↓		? ↓	
Ur II 2.10 ⁶ ans	Actinium 25 ans		Mesoth II 6.2 heures	Act
α ↓	? ↓		β γ ↓	
I ₀ 2.10 ⁵ ans	Radioact 19.5 jours		Radioth 2 02 ans	Th
α ↓	α β ↓		α ↓	
Ra 1730 ans	Act X 11.4 j		Th X 3:64 jours	Ra
α ↓	α ↓		α ↓	
Em 3.85 j	Em 3.9 sec		Em 53 sec	Em
α ↓	α ↓		α ↓	
Ra A 3 min	Act A 0.002 sec		Th A 0.14 sec	Po
α ↓	α ↓		α ↓	
Ra B 26.7 min	Act B 36.1 min		Th B 10.6 h	Pb
β ↓	β ↓		β ↓	
Ra C 19.5 min	Act C β 2.15 min		Th C 55 min	Bi
α ↙ β γ ↓	α ↙ ? ↓		α ↙ β ↓	
Ra C ₂ Ra C ₁ 10 ⁻⁶ sec	Act D Act C'		Th D 3, 1 m. Th C' 10 ⁻¹¹ sec	Po
β ↓ ? ↓	β α ↓ ? ↓			
Ra D 16.5 ans				Pb
β ↓				
Ra E 5 j				Bi
β ↓				
Po 140 j				Po
α ↓				
P b				Pb

(1) Des recherches récentes permettent de penser que l'Actinium et le Radium dérivent tous deux de l'Uranium, mais le lieu de la bifurcation n'est pas encore parfaitement déterminé. La bifurcation après l'Uranium X₁ est encore sujette à réserves.

Nous venons de dire que dans les eaux minérales on trouve le plus souvent les émanations, quelquefois les parents directs de ces émanations, presque jamais les corps du premier groupe. Il nous faut donc étudier avec quelque détail les parents des émanations, les émanations elles-mêmes et leurs produits de désintégration, leur radioactivité induite.

1° Famille du radium.

Le *radium*, métal alcalinoterreux, de poids atomique 226, se détruit de moitié en 1730 ans ; son rayonnement est composé de rayons α et de vibrations γ .

Le parcours des rayons α est de trois centimètres trente, à la température de 15 degrés sous la pression normale, le coefficient d'absorption des rayons β par l'aluminium est d'environ 200. Il donne naissance à une émanation, l'*émanation du radium*. Ce gaz qui, dans le système périodique, prend place dans la colonne des gaz rares, se détruit de moitié en 3,85 jours, et émet seulement un rayonnement α de parcours 4,16.

Pour l'étudier, on introduit l'émanation dans un condensateur cylindrique portant suivant son axe, une électrode isolée que l'on met en communication avec la feuille d'or de l'électroscope. Si l'on mesure, aussitôt après l'introduction du gaz, l'intensité du courant d'ionisation, dû au rayonnement α , on constate que cette intensité croît pendant les trois premières heures, passe alors par un maximum, puis décroît exponentiellement de moitié en 3.85

jours, ainsi que le veut la théorie (figure 2). Si au bout d'un certain temps, nous vidons notre condensateur et si, après l'avoir rempli d'air frais bien sec et soigneusement filtré, nous continuons à intervalles fréquents à mesurer notre courant d'ionisation, nous constatons que ce courant décroît très rapidement d'abord, puis plus lentement, et qu'au bout de 40 minutes environ, il diminue exponentiellement de moitié cette fois en 26,7 minutes (figure 3). La portion

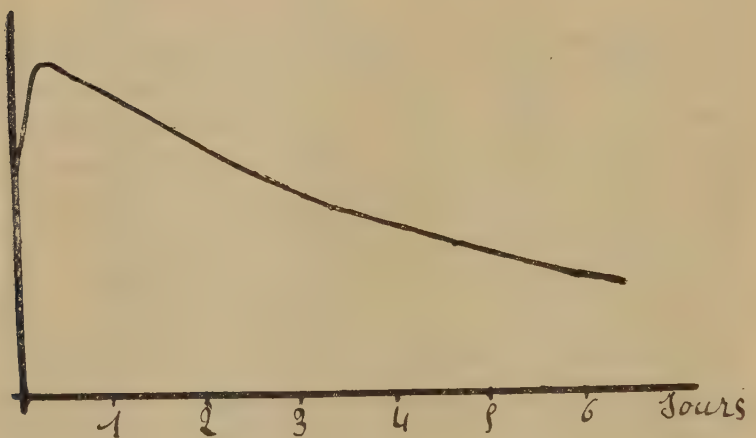


Fig. 2

ascendante de la courbe d'activité de l'émanation et la courbe décroissante que l'on observe après le vide, sont dues aux produits de désintégration de l'émanation, à la *radioactivité induite*.

L'atome d'émanation en explosant libère en effet de l'hélium et le résidu constitue le *radium A*. Ce corps se détruit très rapidement ($T = 3'$) en émettant un rayonnement α et donne le *radium B* ($T = 26,7'$)

La désintégration atomique se poursuit ; le *radium C* ($T = 19,5'$) complexe, donne naissance à des produits de vie plus longue, *radium D* ($T = 16,5$ ans), *radium E* ($T = 5$ jours), *radium F* ($T = 136$ jours),

Dans la pratique des mesures de la radioactivité des eaux minérales, ce qu'on rencontre presque tou-

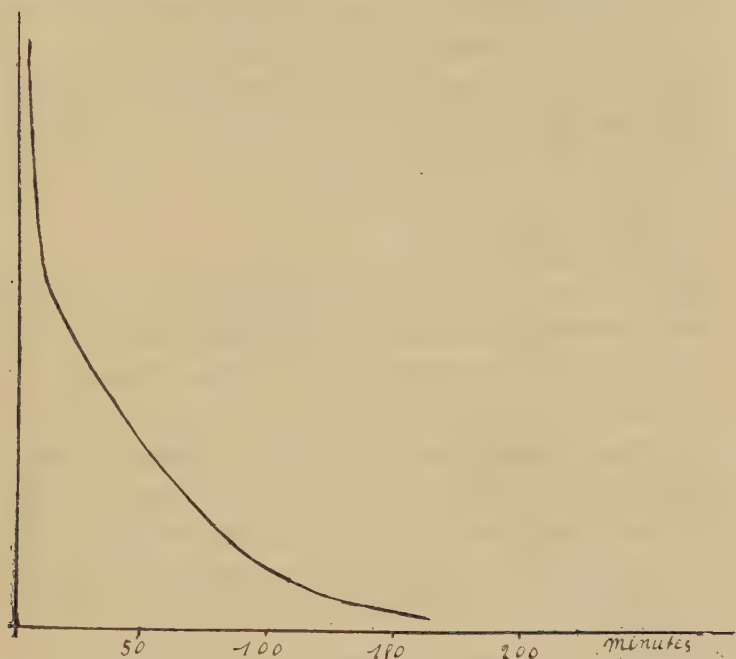


Fig. 3

jours, ce sont les trois premières substances, le *radium B* imprimant à la courbe de désactivation son caractère exponentiel avec sa période de 29 minutes.

On conçoit, en outre, que lorsqu'on introduit dans un condensateur de l'émanation du radium au minimum d'activité, privée de ses produits, cette émana-

tion ne cesse de se désintégrer et comme chaque explosion d'atome fournit un nouveau corps radioactif qui rayonne et ionise par lui-même, le courant mesuré à l'électroscope sera accru d'autant, jusqu'au moment où il se détruira autant d'atomes ionisants qu'il s'en produit. Il y a alors équilibre et, à partir de ce moment, *c'est un fait général*, l'ensemble complexe formé d'émanation et de radium A, B, C, verra son pouvoir ionisant décroître avec la période caractéristique du corps ayant la plus longue vie, dans le cas particulier l'émanation (1).

2° Famille du thorium.

Le thorium a un poids atomique égal à 232,4 (c'est donc probablement un mélange d'isotopes). Ce métal émet un rayonnement α . Il possède une vie très longue ($T = 1,8 \cdot 10^{10}$ ans).

Il donne naissance à un certain nombre de corps, *mesothorium 1* ($T = 5,5$ ans), *mesothorium 2* ($T = 6,2$ heures), *radiothorium* ($T = 2,02$ ans) et enfin *thorium X*. C'est cette dernière substance et quelquefois le radiothorium (Blanc) que l'on trouve dans les sources.

Le thorium X est à l'émanation du thorium, ce que le radium est à son émanation. Comme le radium

(1) Les radium D, E, F de vie beaucoup plus longue n'interviennent pas dans ce cas là. L'ionisation que leur rayonnement produit, beaucoup plus faible que celle déterminée par le rayonnement de l'émanation et de la radioactivité à vie courte, n'intervient d'une manière appréciable que lorsque presque toute l'émanation présente a subi la désintégration.

dont il est isotope, il émet un rayonnement α de parcours 4,30. Comme le radium il est entraîné par le sulfate de baryum, c'est un précieux moyen d'étude, mais sa vie est infiniment plus courte sa période étant seulement de 3,64 jours.

Il donne naissance à une émanation, *l'émanation du thorium*, de vie si brève ($T = 54 \text{ sec.}$) que, pour la déceler, il faut l'entraîner par un courant d'air de vitesse convenable dans un condensateur de forme spéciale. C'est dire qu'il est indispensable de procéder à l'étude de cette émanation au griffon même des sources et que d'ailleurs ce gaz ne peut exister dans les eaux minérales qu'autant que son corps générateur, le thorium X, se trouve dissous dans ces eaux. On peut donc déduire de la présence du thorium X la présence de l'émanation.

Comme l'émanation du radium les atomes d'émanation du thorium émettent des particules α , de parcours égal à 5 centimètres et donnent naissance à une activité induite, *thorium A* ($T = 0,14 \text{ s.}$), *thorium B* ($T = 10,6 \text{ h.}$), *thorium C₁* ($T = 60'$), *thorium C₂* (10^{-11} sec.), *thorium D* ($3,1 \text{ min.}$). On peut recueillir cette activité induite sur un fil chargé négativement. C'est ainsi qu'on la recherche dans l'atmosphère. L'allure de la courbe d'intensité du courant en fonction du temps que l'on obtient de cette manière est tout à fait autre que celle que donnent les produits de désintégration de l'émanation du radium, croissante d'abord, maximum après un temps variable, fonction de la durée d'activation et décroissant ensuite exponentiellement sui-

vant la règle générale de moitié en 10,6 heures, le corps de vie la plus longue étant le thorium B (fig. 4).

3° Famille de l'actinium.

La famille de l'actinium ne nous occupera que très peu car, à ma connaissance, on n'en a pas signalé les éléments dans les eaux minérales.

L'actinium, métal de poids atomique non encore déterminé expérimentalement et calculé en partant

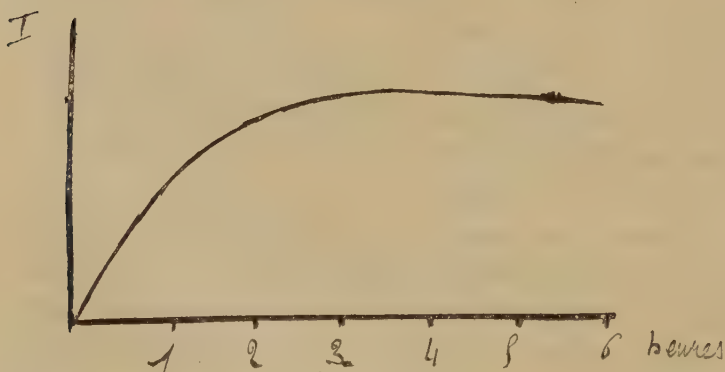


Fig. 4

de la théorie de la désintégration des corps radioactifs, donne naissance au *radioactinium* et par son intermédiaire, à l'*actinium X*.

Ce corps, identique en tous points au radium et au thorium X, si bien que par le sulfate de baryum on peut précipiter les trois corps à la fois, émet un rayonnement α et a une période de 11,4 jours. Il donne naissance à une émanation de période excès-

sivement courte, 3,9 secondes, donc pratiquement indiscernable dans les gaz des griffons.

Cette émanation donne naissance à son tour à une radioactivité induite, *actinium A* ($T=0,002$ s.), *actinium B* ($T=36,4$ min.), *actinium C* ($T=2,45$ min.), *actinium D*

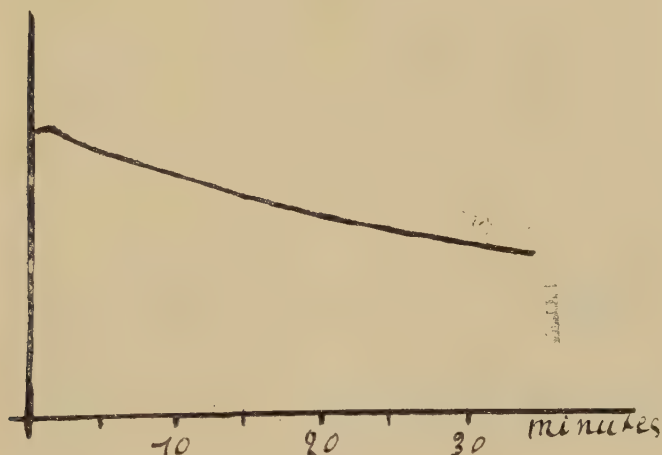


Fig. 5

$T=4,71$ m.), activité que l'on peut recueillir sur un fil (chargé négativement et dont la courbe caractéristique décroît en cas d'une activation longue, au bout de quelques minutes de moitié en 36 minutes environ, période de l'actinium B (BRONSON) (figure 5).

CHAPITRE II

Histoire de la radioactivité des eaux minérales

Bien que la radioactivité ait été une découverte française, ce n'est pas en France que furent étudiées pour la première fois les eaux des sources. Le premier mémoire paru sur la question est celui de J.-J. THOMSON (62) en 1902. THOMSON montre que l'air barbotant dans l'eau de Cambridge acquiert la propriété de décharger un électroscope et son élève ADAMS (1) l'année suivante, introduisant cet air à l'intérieur de la cage d'un électroscope sensible, détermine pour la première fois la courbe de l'émanation dissoute dans une eau de source.

Dès lors l'élan est donné, BUMSTEADT et VHEELER aux Etats-Unis (16), sur les indications de THOMSON lui-même, étudient en 1903 l'eau d'une source près de New-Milford dans le Connecticut ainsi que l'eau de la ville de New-Hawen.

BOLTWOOD en 1904 (10) dans un important mémoire, après avoir défini, comme étalon d'activité,

l'activité produite par l'émanation en équilibre avec le radium associé à un centigramme d'uranium dans l'uraninite, étudie trois sources des Etats-Unis. Il montre en outre que si l'on fait digérer dans l'eau chaude des minerais d'urane, cette eau devient radioactive.

Il indique par cette expérience tout l'intérêt que présente l'étude des sources au voisinage de terrains radifères.

STRUTT en 1904 (61), après avoir rappelé les expériences d'ALLEN et BLYTHSWOOD (2), étudie l'eau et les sédiments des sources de Bath et y décèle le radium, fait que plus tard devait confirmer RAMSAY (48).

De leur côté, les Allemands n'étaient pas restés inactifs. ELSTER et GEITEL (24) en 1903 décèlent le radium dans les eaux de Bad-Nauheim par l'étude de la désactivation d'un fil placé au-dessus des sédiments de la source.

En 1904 et 1905, MACHE et MEYER (37) publient leur étude sur les sources d'Autriche et de Bohême. SCHMIDT (53) étudie les sources du Taunus. SCHMIDT et H.-W. KURZ, par l'étude des sources du Grand-Duché de Hesse (54), montrent que les eaux les plus radioactives sont celles qui émergent dans les terrains primitifs. En Italie, VICENTINI et LEVI DI ZARA étudient les eaux et les boues des sources euganéennes.

BORGMANN (11) et SOKOLOW (59) s'occupent de la radioactivité des eaux et boues médicamenteuses russes. Enfin en 1905, BLANC (9) publie ses résultats

concernant les sources de Maurienne, ayant décelé le radiothorium dans les sédiments des sources de Salins-Moutiers.

Les premières publications françaises, celles de CURIE et LABORDE, datent de 1904 et sont corrigées et complétées en 1906 (19). CURIE et LABORDE étudient les gaz et les eaux des principales stations françaises. Leur technique peut être ainsi résumée : Les gaz étaient recueillis au griffon des sources par LABORDE ou un collaborateur expérimenté dans un grand flacon renversé sur le griffon et dans le goulot duquel pénétrait le tuyau d'un entonnoir de surface convenable. Le gaz déplaçait l'eau contenue dans le flacon et celui-ci une fois rempli était bouché sous l'eau, cacheté et envoyé au laboratoire. Le prélèvement des eaux ne présentait rien de spécial. Gaz et eaux étaient étudiés à Paris quatre jours après le prélèvement. Pour cela le gaz était introduit dans un condensateur cylindrique muni d'une électrode axiale isolée et le courant de saturation provoqué par le rayonnement de l'émanation en équilibre avec ses produits, c'est-à-dire trois heures après l'introduction du gaz dans le condensateur, mesuré à l'électromètre par compensation au moyen d'un quartz piezo-électrique.

Les eaux étaient soumises à une ébullition prolongée d'une durée de deux heures, les gaz recueillis et étudiés de la même manière que les gaz des griffons. L'activité qu'ils produisaient était comparée à celle produite par l'émanation extraite d'une solution ti-

trée de bromure de radium et l'unité employée, le milligramme minute de bromure de radium, était la quantité d'émanation produite par un milligramme de ce sel en une minute (1).

CURIE et LABORDE étudièrent de cette façon presque toutes les eaux françaises et, à part quelques exceptions, leur étude n'a pas été refaite. L'inconvénient de leur méthode, d'ailleurs parfaitement rigoureuse, résidait dans l'emploi du quartz et de l'électromètre, emploi qui nécessitait l'étude de la radioactivité des eaux minérales dans un laboratoire outillé et impliquait par conséquent un certain délai entre le prélèvement et la mesure.

CURIE avait choisi quatre jours, afin qu'étant donnée la période de l'émanation du radium, (3,85 jours), il suffise de doubler les chiffres obtenus pour avoir l'activité à la source même. On ne pouvait donc de cette façon étudier les émanations à vie courte.

A l'étranger, on résolut le problème de différentes façons et leur application par beaucoup d'expérimentateurs m'oblige à exposer les deux principales méthodes employées, la méthode d'ENGLER et SIEVEKING et la méthode de SCHMIDT.

Dans le fonctatoscope d'ENGLER et SIEVEKING l'eau à étudier était introduite en volume invariable

(1) On trouve quelquefois, dans les mémoires, la teneur en émanation d'une source exprimée en milligrammes minutes de Radium. Cette quantité est environ le double de celle utilisée par CURIE et LABORDE et on a :

1 milligramme minute Ra Br² 2 H² O = 0, 535 milligr. min. Ra

dans un récipient clos où l'on réalisait par agitation l'équilibre de l'émanation entre l'air et l'eau.

Une fois cet équilibre atteint, on enlevait le bouchon fermant le récipient à la partie supérieure et on plongeait dans ce récipient un cylindre dépendeur métallique relié à un électroscope à double feuille d'or (type EXNER). L'isolement était en ambre pour éliminer l'action de l'humidité, on lisait alors à intervalles réguliers la position des feuilles d'or et on notait l'activité en volts-heures. Connaissant la capacité de l'appareil, on pouvait calculer l'intensité du courant en ampères. On faisait la mesure de l'activité aussitôt après avoir plongé le cylindre dépendeur dans le récipient contenant le gaz à étudier. Naturellement une mesure préalable, faite après introduction d'eau distillée, permettait de calculer la perte à vide.

Cette méthode d'ENGLER est susceptible de nombreuses objections. Pour faire la mesure, il faut déboucher le récipient contenant l'émanation, d'où perte certaine d'émanation. Deuxième objection, les mesures se font aussitôt après l'agitation de l'eau, donc au moment où l'intensité du courant d'ionisation croît très rapidement dans le cas de l'émanation du radium, ou décroît encore plus rapidement dans le cas de l'émanation du thorium sans compter l'influence des gros ions de faible mobilité. Les mesures prises dans ces conditions sont donc absolument incertaines.

La méthode de circulation de H.-W. SCHMIDT (52).

bien que basée sur le même principe, apporte à celle d'ENGLER de nombreux perfectionnements qui l'ont rendue précise.

L'eau à étudier, en quantité déterminée, est agitée avec un volume d'air également déterminé dans un récipient clos ; deux robinets permettent de connecter ce récipient à un second récipient contenant le cylindre de déperdition, relié à l'électroscope. L'ensemble forme donc un système clos et au moyen d'une poire en caoutchouc disposée convenablement sur l'un des tubes de connection, on peut faire circuler l'air actif du récipient où l'émanation se partage dans celui où se fait la mesure jusqu'à ce que l'équilibre soit établi. Les gaz libérés par agitation, ne peuvent donc s'échapper. Les desséchants, reconnus inutiles ou même nuisibles à cause de l'émanation qu'ils peuvent absorber, ont été supprimés. En Allemagne, en Autriche et en Italie, cette méthode a servi à la plupart des observateurs.

Dès la publication de CURIE et LABORDE, l'attention fut appelée en France sur la radioactivité des eaux minérales, tant au point de vue physique qu'au point de vue thérapeutique.

Les principaux travaux de radioactivité hydrologique parus en France depuis cette date sont ceux de MOUREU et LÉPAPE, ceux de BROCHET, ceux de DIENERT. MOUREU et LÉPAPE (41) étudient les eaux de Bagnères-de-Luchon pour la première fois en 1908 et 1909 et dosent l'émanation contenue dans les eaux,

les gaz et l'atmosphère des galeries. Leurs travaux furent faits partie à la source, partie au laboratoire.

A la source, MOUREU et LEPAPE utilisent un électroscope CHENEVEAU et LABORDE, à feuille d'aluminium, et pour extraire les gaz de l'eau utilisent soit la méthode de CURIE par ébullition, soit une méthode analogue en son principe à celle d'ENGLER, mais beaucoup plus pratique et qu'il serait important de voir se généraliser.

« L'organe essentiel de l'appareil est une cloche de verre A B dont les extrémités symétriques peuvent être fermées par des bouchons de caoutchouc de faible diamètre. Le bouchon supérieur A est traversé par un robinet de verre *a* et un thermomètre *t* tandis que le bouchon inférieur ne porte qu'un robinet de verre *b*.

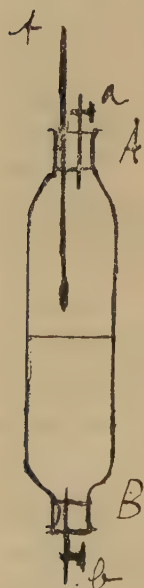


Fig. 6

La cloche est graduée et sa capacité est de 1000 centimètres cubes. Pour effectuer la prise d'essai, il suffit d'enlever le bouchon B, d'ouvrir le robinet *a* et de plonger la cloche dans le griffon.

Quand la cloche est complètement remplie d'eau, on bouche sous l'eau l'extrémité B, on ferme *a*. On refroidit la cloche sous un courant d'eau jusqu'à ce que le thermomètre intérieur *t* mar-

que une température bien déterminée voisine de vingt degrés. Quand cet état est atteint on ouvre *a*, puis *b*, puis on laisse s'écouler 500 centimètres d'eau.

Si alors on agite vigoureusement la cloche, l'air agit comme solvant et s'empare d'une fraction importante d'émanation dissoute dans l'eau. Une agitation de dix à quinze minutes suffit pour établir un état d'équilibre entre l'eau et l'air (figure 6) ».

MOUREU étudie de cette façon 18 sources dont la teneur en émanation oscille entre 2,20 et 6,06 milligrammes minutes par dix litres d'eau.

Tout récemment LEPAPE complète l'étude des griffons de Luchon (1), montrant l'extrême richesse et la gamme étendue que ces sources présentent au point de vue de la radioactivité. Son étude a encore un autre intérêt : elle montre que si nous prenons un groupe de sources voisines les unes des autres, mais sortant les unes du granit, les autres du schiste, ce sont celles qui viennent au jour dans les terrains primitifs qui sont les plus radioactives.

BROCHET (15) en 1909, utilisant la technique de MOUREU, étudie les eaux de Plombières, ainsi que quelques sources thermales sauvages des Vosges. Dans son travail se trouve définie pour la première fois la notion de *puissance radioactive d'une station thermale*. C'est la quantité de bromure de radium qu'il faudrait mettre en jeu pour radioactiver la totalité des eaux, c'est-à-dire pour produire par seconde l'émanation nécessaire pour maintenir au taux observé la radioactivité de toutes les sources. Il trouve que la puissance radioactive de Plombières équivaut à

(1) C. R. 1920.

55 milligrammes de bromure de radium. DIENERT, en collaboration avec BOUQUET (20) ou avec GUILLERD (21), étudie les sources de l'Ile-de-France et du bassin de Paris, cherchant à se rendre compte des rapports existant entre la radioactivité des sources et les terrains sédimentaires dans lesquels elles prennent naissance. Il arrive de cette façon à reconnaître l'origine géologique des sources de la Voulzie et du Durteint. Toute une pléiade d'observateurs étudient les sources de France : BESSON (8), MASSOL (38) étudient Uriage ; LABORDE (33), Vichy ; BERTIER (7), Aix-les-Bains ; LÉPAPE (34), Sail-les-Bains ; BARROIS (3), St-Amand ; COUZEFEYTE (17), la source Viguerie, à Ax.

L'émanation du radium dissoute dans les sources est accompagnée de gaz rares, hélium, argon, néon, xenon, krypton. C'est au dosage de ces gaz rares dont l'un, l'hélium, est un constituant des atomes radioactifs que MOUREU, en collaboration avec LÉPAPE, consacre de nombreuses années. Dans l'important travail qui résume ses recherches (40), il montre que la plupart des sources de France dégagent des gaz rares à leur griffon et en particulier de l'hélium, mais qu'on ne peut établir aucune relation entre la radioactivité et la teneur en hélium de ces sources et qu'en particulier, certaines sources possèdent un dégagement considérable d'hélium sans avoir une radioactivité supérieure aux autres, d'où la nécessité de l'hélium fossile, résidu de transformations radioactives maintenant éteintes. Dans un ordre de recherches tout différent. PIUTTI n'a-t-il pas décélé de l'hé-

lium dans les minéraux de glucinium, sans que ces minéraux présentent de radioactivité (47).

Enfin, mentionnons la communication de FRENKEL (26), sur l'*hororadioactivité*. L'émanation dégagée aux griffons se perd dans l'atmosphère et n'est pas sans jouer un rôle thérapeutique probablement important au cours des cures thermales ; on conçoit qu'une source faiblement active, mais à débit important, enverra dans l'atmosphère environnant la source plus d'émanation par heure que d'autres sources très actives mais à débit minime ; et si nous ne tenons pas compte de la désintégration de l'émanation au bout d'une heure sous l'influence de laquelle un centième seulement de l'émanation initialement présente disparaît, la quantité d'émanation répandue dans l'air pendant une heure est égale au produit

$$H = D_h \times R,$$

D_h étant le débit horaire gazeux ou liquide suivant que la radioactivité étudiée est celle des gaz ou celle de l'eau, R la teneur en émanation des gaz ou de l'eau, H l'*hororradioactivité*.

FRENKEL montre que, par exemple, la source Vauquelin, de Plombières, avec sa forte radioactivité, 109 millimicrocuries, mais son faible débit deux litres de gaz à l'heure, possède une *hororradioactivité* très faible tandis que Nérès, avec sa faible activité, 6,73 millimicrocuries, mais son fort débit, 400 litres à l'heure, a une *hororradioactivité* environ douze fois plus forte et que la source de Boussange, à Vichy, avec 0,6 millimicrocuries, mais un débit de 60.000 li-

tres à l'heure a une hororadioactivité mille fois plus grande. *Cette notion est à mon avis fondamentale et donnera peut-être dans l'avenir, une fois contrôlée expérimentalement, la clef de l'action du climat dans les cures thermales.*

En plus de l'action brutale et évidente des rayons solaires agissent certainement dans les cures climatiques bien d'autres facteurs dépendant des conditions orographiques et météorologiques ainsi que de la végétation. Il est de plus probable, certain même, que les produits de désintégration des émanations agissant tant pour leur propre compte que par les ions auxquels leur rayonnement donne naissance, interviennent en produisant des complexes physico-chimiques plus ou moins stables dont l'action sur l'organisme ne doit pas être à dédaigner.

Passons maintenant rapidement aux travaux faits à l'étranger. Ils sont innombrables et leur nomenclature serait à la fin fastidieuse.

SATTERLY (50), EVE (25), SCHRADER (57), LESTER (35), étudient les sources des États-Unis. RAMSAY (48), fait une étude complète de celles de Bath. En Italie, BATTELLI, OCCHIANELLI et CHELLA (4), analysent les eaux de San Giuliano, y décelant une émanation nouvelle. BERNINI étudie les gaz de San Saturnino. En Suisse, SARRASIN, GUYE, MICHELI (51), SCHWEITZER (56), VON SURY (65), PERRET et JACQUEROD (44), en Roumanie, HURMUZESCU et GIURGEA (27), en Espagne, MUNOZ DEL CASTILLO (43), PINTO, au Portugal (45), JANSEN, au Danemark, ISITANI et YAMAKAWA, au Japon,

donnent la teneur en émanation du radium de nombreuses sources du globe. Citons pour mémoire les auteurs allemands, VON DER BORNE (64), SCHIFFNER (55), EBELER et FELLNER (23), WEIDIG (66), HEINRICH (28).

Au début de l'étude de la radioactivité des eaux minérales les auteurs n'employaient pas tous la même unité. Nous avons vu que CURIE employait le milligramme-minute, ENGLER utilisait le volt-heure. MACHE définit de son côté une unité qui porte son nom, qui est la quantité d'émanation sans produits de désintégration qui provoque dans un récipient de dimensions très grandes un courant de saturation égale à un millième de l'unité électrostatique d'intensité de courant.

En 1911, au Congrès de Bruxelles, fut adopté une unité de quantité d'émanation du radium bien définie, le curie. *C'est la quantité d'émanation en équilibre avec un gramme de radium.* C'est cette nouvelle unité qui doit désormais être utilisée dans tous les mémoires concernant la radioactivité des eaux minérales. Nous donnons ci-joint le tableau de concordance des différentes unités.

CURIE	MICROCURIE	MILLIMICRO-CURIE	MILLIG. MIN. de $Ra\ br^2$	MACHE
1	1000000	1000000000	11940000	2,560,000,000
0,000001	1	1000	14.940	2,500
0,00000001	0,001	1	0,1494	2,5
0,00000000694	0,0694	66,94	1	16735
0,0000000001	0,0004	0,4	0,00005948	1

Au point de vue qui nous occupe le curie est une unité énorme ; l'unité généralement employée est le *millimicrocurie*, qui est un milliard de fois plus petit.

Pour connaître la radioactivité d'une eau minérale un seul dosage ne suffit pas car la teneur en émanation d'une source n'est généralement pas constante.

MOUREU, lors de ses études à Luchon l'avait entrevu. « Ajoutons, dit-il, pour terminer une dernière remarque. Au cours de nos recherches, nous avons observé parfois de petites différences dans nos séries de mesures pour une même source, et il paraît difficile d'attribuer ces écarts à des erreurs d'expériences.

Nous inclinerons plutôt à penser que la composition des eaux et des gaz est sujette à des variations. Les débits gazeux sont très irréguliers et l'on conçoit que la même irrégularité, forcément liée à des oscillations de quelque phénomène géologique dont la nature véritable nous échappe, puisse affecter dans une certaine mesure la composition du mélange complexe constituant l'eau minérale ».

RAMSEY (49), du 24 septembre 1914 au 25 juin 1915, étudie deux sources des Etats-Unis, Hottle Spring et Illinois Central Spring, faisant une mesure par semaine. Il montre dans son mémoire que la radioactivité augmente en même temps que le débit et qu'elle est affectée par les chutes de pluie.

STEICHEN (60), étudiant les sources de Tuwa, dans l'Inde, en employant comme RAMSEY la méthode de

SCHMIDT, trouve une relation exactement inverse de celle de RAMSEY, ce qui montre que les variations de la radioactivité des sources dépendent de conditions locales.

PERRET et JACQUEROD (44), étudiant les eaux de la région de Neuchâtel, ne trouvent pour les deux sources qu'ils ont étudiées au point de vue de leurs variations, la source du Brühl et la source du Marais, aucune relation nette entre le débit, la pluie et la radioactivité.

Cela doit tenir évidemment à ce que leurs mesures n'étaient pas assez fréquentes, deux fois par mois en moyenne.

Enfin, pour terminer, signalons un travail de LUDEWIG sur les sources de Brambach (36), d'après lequel le débit de la source augmente après chaque période de pluie et la teneur en émanation augmente avec le débit. Comme nous le verrons par la suite, ces résultats publiés quelque temps après les nôtres en sont la confirmation en ce qui concerne le rôle de la pluie dans l'activation des sources d'origine superficielle.

DEUXIÈME PARTIE

Etude de la radioactivité des eaux de Bagnoles-de-l'Orne

CHAPITRE PREMIER

Historique. — Dispositif expérimental

L'historique de l'étude de la radioactivité des sources de Bagnoles se réduit à bien peu de chose.

BOUCHARD et DESGREZ, en 1896 (5), recherchent les gaz rares dans les gaz du griffon de la Grande Source et donnent de ces gaz la composition centesimale suivante :

Gaz carbonique'	5
Azote	90,5
Argon	4,5
Hélium	traces

L'intérêt de l'étude de la Grande Source de Bagnoles n'avait pas échappé à CURIE.

Les gaz de la source (recueillis au griffon par notre vénéré confrère, le docteur CENSER), furent dosés au

laboratoire par CURIE et LABORDE, et dans leur note de 1906, CURIE et LABORDE donnent pour teneur en émanation de dix litres de gaz de la grande source une quantité équivalente à

0,36 milligrammes minutes de bromure de Radium
soit

0,0024 microcuries par litre.

ce qui correspond à l'émergence à une valeur double, l'émanation ayant été dosée quatre jours après son prélèvement.

Depuis 1906, aucune étude n'a paru concernant la radioactivité de la Grande Source. Le docteur JOLY (72) signale la présence d'uranium reconnu au spectroscope dans les sels extraits de l'eau de source. Le docteur LEPRINCE (1) croit de son côté avoir reconnu par la méthode de JOULIE la présence de sels d'urane dans les sédiments déposés dans le bassin de captage. Mais toutes ces données demandent confirmation.

En vue de l'étude approfondie de la radioactivité de la Grande Source, étude que je vais aborder maintenant, je me suis créé sur les lieux même, à la Geronnière, un petit laboratoire, utilisant comme appareil de mesure l'instrumentation créée par le regretté Jacques DANNE, pour l'étude des eaux minérales.

L'instrument de mesure proprement dit est un électroscope à feuille d'or, de quinze unités électrostatiques de capacité (dans le cas particulier, j'avais remplacé la feuille d'or cassée par une feuille d'alu-

(1) Communication personnelle.

minimum). La tige supportant cette feuille est isolée à l'ambre. Une tige latérale permet de charger le système à un potentiel convenable au moyen d'un bâton d'ambre ou d'ébonite. Sous l'influence de la charge qu'elle acquiert, la feuille dévie de sa position d'équilibre.

La feuille d'or est visée par une lunette munie d'un oculaire portant une échelle micrométrique qui permet, une fois la lunette bien fixée en azimut et en hauteur, de repérer exactement la position de la feuille d'or. Si l'on gradue alors cette échelle en volts, méthode commode à condition d'avoir à sa disposition une batterie d'accumulateurs d'un nombre suffisant d'éléments, on peut calculer l'intensité du courant d'ionisation par la formule déjà donnée :

$$I = C \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (1)$$

Mais le calibrage de l'échelle en volts n'est nullement nécessaire. L'appareil porte à sa partie inférieure un disque d'oxyde d'urane recouvert par deux volets de laiton que l'on peut déplacer de l'extérieur. On peut connaître l'intensité du courant d'ionisation produit par le rayonnement α du disque d'urane, soit par une mesure directe en compensant ce courant par la charge électrique produite par la déformation d'un quartz piezo-électrique, soit plus simplement en calculant le courant de saturation produit par le disque sachant que le courant produit par un centimètre carré d'une couche épaisse d'oxyde d'urane est égal à 5.89×10^{-10} ampères (Mac Coy). Soit K

la valeur en ampères de ce courant dû au disque d'urane, t_1 le temps que met la feuille de l'électroscope à retomber entre deux divisions données, sous l'action du rayonnement émis par ce disque, t_2 le temps de chute de la feuille entre les mêmes divisions sous l'action d'un rayonnement quelconque provenant d'une autre substance à étudier, on a :

$$I = K \frac{t_1}{t_2} \quad (2)$$

La formule à utiliser n'est pas en réalité aussi simple car il faut tenir compte de la *fuite spontanée* ou *courant de déperdition*. Qu'est-ce que le courant de déperdition ? La feuille d'or d'un électroscope ne tient jamais sa charge. Elle se décharge plus ou moins vite, suivant les conditions physiques dans lesquelles elle se trouve et elle retombe peu à peu.

Cette fuite est due à deux causes : elle provient, pour une part, de la conductibilité électrique qu'acquiert tout isolant sous l'action du champ (BIALOBIESKI, JAFFÉ) et, pour l'autre, de la radiation pénétrante, car, si épaisse que soit la paroi de l'électroscope et si dense que soit le métal qui la constitue, la radiation γ provenant des produits de désintégration présents dans l'atmosphère et du radium contenu dans le sol traverse en s'affaiblissant, il est vrai, les parois de l'instrument et vient ioniser l'air entourant la feuille. Une correction importante dans certains cas est ainsi nécessaire pour avoir la vraie valeur du courant d'ionisation.

Désignons donc par t' le temps de chute de la feuille entre deux divisions données sous l'influence de la fuite spontanée, on a :

$$I = C (V_1 - V_2) \frac{1}{t_2} = C (V_1 - V_2) \frac{1}{t'} = C (V_1 - V_2) \left(\frac{1}{t_2} - \frac{1}{t'} \right)$$

et $K = C (V_1 - V_2) \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t'} \right)$

d'où
$$I = K \frac{\left(\frac{1}{t_2} - \frac{1}{t'} \right)}{\left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t'} \right)}$$

Je ne veux pas m'étendre dans ce travail sur les variations importantes de la radiation pénétrante, étude non encore achevée et qui fera l'objet d'un travail ultérieur. Qu'il me suffise pour l'instant de dire que ce courant de déperdition semble être surtout fonction de la teneur en émanation de l'air des stations thermales, qu'il varie dans le même sens que la quantité d'émanation présente et qu'il permet dans une certaine mesure de calculer la teneur en émanation de l'atmosphère environnante.

CHAPITRE II

Recherche et dosage des sels radioactifs dissous dans l'eau de la Grande Source.

La teneur en émanation des gaz du griffon étant connue par les expériences de CURIE et LABORDE, ce qu'il importait de savoir, c'était quelle quantité de gaz demeurerait dissoute dans l'eau minérale et surtout c'était de rechercher si des sels de radium ou d'autres corps radioactifs se trouvaient dissous dans l'eau.

En 1913, quelques expériences faites avec un matériel de fortune me permirent de déceler le radium dans l'eau minérale. De ces expériences purement qualitatives nous ne retiendrons que la technique. De l'eau de la Grande Source après ébullition prolongée, avait été conservée quinze jours en ballon scellé ; au bout de ce temps, l'eau était soumise à nouveau à l'ébullition et les gaz envoyés dans un petit flacon dans lequel plongeait une lame de verre bien propre. Si les gaz recueillis contenaient de l'émanation, preuve que l'eau contenait des sels de radium, puisque l'émanation qui s'y trouvait dissoute lors de la prise au griffon avait été chassée par la première

ébullition, on devait recueillir sur la lame de verre l'activité induite due au radium. C'est ce que montra l'expérience qui nous donna une courbe caractéristique.

TEMPS EN MINUTES	ACTIVITÉ (en unités arbitraires)
0	107
8	23
32	15
42	13
54	10
72	9,7
78	8,6
123	2

Aussi, dès 1916, entreprîmes-nous la recherche et le dosage des sels de radium dans l'eau de la Grande Source. Nous ne pouvions songer faute de matériel à doser le radium par la méthode de l'émanation dégagée ; nous nous en tîmes à une méthode évidemment moins précise au point de vue quantitatif, mais beaucoup plus facile à mettre en œuvre, la méthode de Mac Coy, dans laquelle le radium précipité par des réactifs appropriés est étendu sur des disques en couches suffisamment minces.

La technique employée a été la suivante : Le radium, isotope du baryum est entraîné par ce corps dans toutes ses réactions.

En particulier, si à un sel de radium en solution on ajoute du chlorure de baryum et si l'on précipite par l'acide sulfurique ou un sulfate, le précipité peut entraîner la totalité du radium dissous.

Une quantité convenable d'eau minérale est donc

additionnée de chlorure de baryum ; le séjour du chlorure de baryum dans l'eau doit être prolongé assez longtemps, quatre jours en moyenne et le mélange agité fréquemment pour permettre la diffusion complète de l'ion baryum dans la solution. On procède alors à la précipitation simultanée du baryum et du radium au moyen du sulfate d'ammoniaque. Le précipité est maintenu plusieurs jours en contact avec l'eau et agité fréquemment. A cette condition l'entraînement du radium est total (DANNE). Le précipité de sulfate de baryum est recueilli sur un filtre et le filtre incinéré dans un petit creuset de porcelaine.

Précipité et cendres du filtre sont ensuite finement pulvérisés dans un mortier en verre et la poudre ainsi obtenue émulsionnée dans l'alcool fort de façon à obtenir une suspension très fluide.

Cette émulsion est versée sur des disques de dimension convenable, on dispose ces disques sur une table bien horizontalement de façon que l'émulsion soit répartie d'une manière uniforme, on laisse évaporer l'alcool et l'on obtient ainsi une couche homogène, adhérente et de couleur grisâtre. Les disques ainsi préparés sont prêts à être étudiés à l'électroscope.

A cet effet la tige isolée supportant la feuille d'aluminium porte un plateau autour duquel un couvercle cylindrique, en communication métallique avec la cage, sert de seconde armature de condensateur, de sorte qu'entre le plateau et le couvercle existe un champ vertical. La feuille d'aluminium se déchar-

gera donc par l'intermédiaire de l'air contenu dans la chambre d'ionisation ainsi constituée, air que viendront ioniser les rayons issus de la substance active présente sur les disques préparés comme il vient d'être dit plus haut et qui seront placés sur le plateau de l'électroscope. (Figure 7).

Le rayonnement ionisant dans ces conditions est le rayonnement α , car les rayons β et γ ne produisent d'ionisation appréciable, que si l'on utilise une chambre d'ionisation de profondeur beaucoup plus grande que celle de la chambre employée pour ces sortes de mesures. De plus, du rayonnement α total émis par la substance active la moitié seule est utilisée pour l'ionisation, l'autre moitié étant absorbée par le plateau supportant la substance.

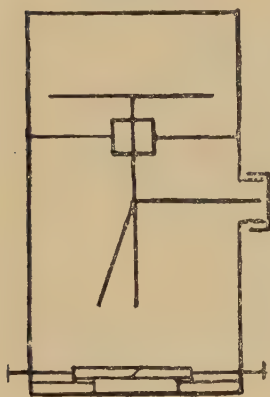


Fig. 7

Qu'arrive-t-il alors lorsque l'on place dans notre condensateur un disque contenant du radium ? Un courant d'ionisation s'établit et, si l'on mesure ce courant à des intervalles réguliers, on constate que l'intensité croît d'une façon continue pendant trente jours environ pour rester ensuite stationnaire.

C'est que le radium produit de l'émanation avec un débit constant, émanation qui reste occluse dans le précipité et s'y transforme en ses produits de désintégration dont le rayonnement propre vient se sura-

ajouter à celui du radium et le courant d'ionisation s'accroît jusqu'à ce que l'équilibre soit établi entre les corps qui apparaissent et l'émanation qui se détruit. Le calcul montre que l'expression algébrique représentant la courbe est la même que dans le cas de l'accumulation de l'émanation dans une solution de sels de radium (1).

(1) Soit en effet Δ la quantité d'émanation produite par gramme de Radium dans l'unité de temps, p le poids de Radium présent dans la courbe active; pendant le temps dt le radium présent donne naissance à une quantité d'émanation

$$p \Delta dt$$

Soit, d'autre part, q la quantité d'émanation présente au même instant. Il s'en détruit pendant le même temps

$$\lambda q dt$$

$$\text{et on a} \quad dq = p \Delta dt - \lambda q dt$$

$$\text{d'où} \quad \frac{dq}{dt} = p \Delta - \lambda q$$

L'intégrale de cette équation (obtenue par la méthode de variations des constantes) est

$$Q = \frac{p \Delta}{\lambda} + C e^{-\lambda t}$$

C étant une constante.

Puisque au début de l'expérience la quantité d'émanation présente est nulle nous trouvons que

$$C = -\frac{p \Delta}{\lambda}$$

$$\text{d'où} \quad Q = \frac{p \Delta}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$$

d'où enfin puisque l'intensité du courant d'ionisation est proportionnelle à la quantité d'émanation

$$\begin{aligned} I = Kq &= \frac{K p \Delta}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \\ &= \frac{I_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \end{aligned}$$

en posant $I_0 = K p \Delta$

$$I = \frac{I_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (1)$$

où λ est la constante de l'émanation du radium de sorte que l'on a

$$I = I_{Ra} + \frac{I_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$$

formule dans laquelle I_{Ra} est la fraction du courant de l'ionisation totale dû au radium au minimum d'activité (1).

La courbe expérimentale fut concordante avec la courbe théorique dans la plupart des cas à part une décroissance initiale attribuable aux produits de désintégration de l'émanation du radium qui solides restent dans le précipité tandis que l'émanation qui leur a donné naissance est chassée par la calcination (2). Les résultats des mesures sont consignés dans les tableaux suivants :

(1) Le terme I_{Ra} devrait être de la forme

$$I e^{-\lambda t}$$

λ étant dans ce cas la constante radioactive du Radium, mais étant donné la période propre du Radium qui est de 1750 ans, on peut considérer le rayonnement dû au radium comme constant pendant le mois que dure l'expérience.

(2) Les relations (1) et (2) ne sont rigoureusement applicables que lorsque le radium est enfermé en tube scellé. Dans ce cas le rayonnement utilisé est le rayonnement γ . Il se dégage toujours des disques un peu d'émanation mais dans la pratique la fuite est si petite que l'erreur est négligeable.

1^{er} ESSAI

Date du prélèvement.... Juillet 1917.

Quantité d'eau étudiée .. 250 cme.

TEMPS DEPUIS LA PRÉPARATION

INTENSITÉ

0 j 0 h	0,00141 $\times 11^{-11}$ amp
8	76
1 2	157
2 2	186
5 4	208
5 8	210
6 6	221
8 9	236
13 6	261
21 6	268
30 5	272
36 7	276

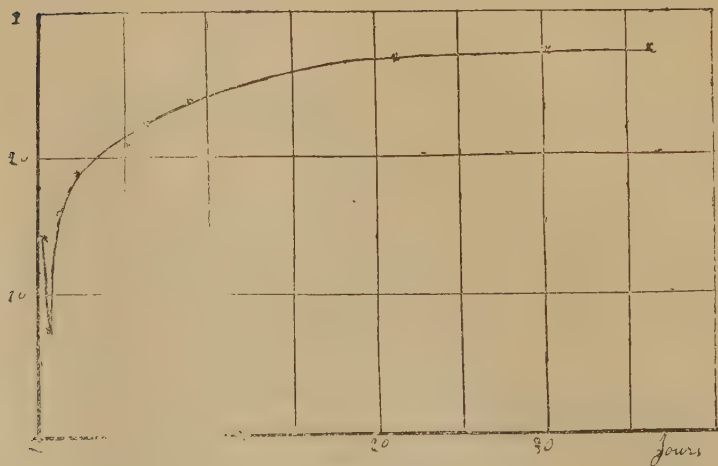


Fig. 8

2^{me} ESSAI

Date du prélèvement . . . 30 Juillet 1917

Quantité d'eau étudiée .. 200 cmc.

TEMPS DEPUIS LA PRÉPARATION	INTENSITÉ
0 j 0 h	$0,00127 \times 10^{-11}$ amp.
23	85
2 23	156
4 23	199
6 23	230
12 18	239
26 23	261
28 2	268
31 23	270
32 4	269

3^{me} ESSAI

Date du prélèvement .. 10 Septembre 1917

Quantité d'eau étudiée.. 200 cmc.

TEMPS DEPUIS LA PRÉPARATION	INTENSITÉ
0 j 0 h 26 min.	$0,00183 \times 10^{-11}$ amp.
0 7 0'	88
2 0 0'	140
6 0 30'	204
11 1 45'	218
12 23 45	229
19 4	252
25 3	263
37 0 30	271
45 1 35	272

De la connaissance du courant maximum égale à

$$0,00272 \times 10^{-11} \text{ ampères}$$

dans le premier cas,

$$0,00270 \times 10^{-11} \text{ ampères}$$

dans le second,

$$0,00271 \times 10^{-11} \text{ ampères}$$

dans le troisième, on peut déduire la quantité de radium présent sur les disques. GEIGER a montré en effet que si l'on disposait sur un disque un gramme de radium en couche suffisamment mince pour que toutes les particules α émises par la substance soient utilisées, cette couche étudiée dans un condensateur semblable au nôtre, utilisant seulement l'action ionisante des particules α , produit un courant de saturation égal à

$$4,03 \times 10^{-4} \text{ ampères}$$

lorsque la couche vient d'être préparée et

$$19,8 \times 10^{-4} \text{ ampères}$$

lorsque le radium présent sur le disque est en équilibre avec l'émanation qu'il produit et les radium A, B, C qui en dérivent, c'est-à-dire au bout de trente jours.

Nous pouvons donc écrire

$$Q = \frac{I_m}{19,8 \times 10^{-4}}$$

ce qui donne pour les trois essais

1 ^{er} Essai.....	$13,74 \times 10^{-12} \text{ gr.}$
2 ^{me} Essai.....	13,63
3 ^{me} Essai.....	13,69

ce qui rapporté au litre donne respectivement pour teneur en radium de l'eau de la grande source.

$$54,95 \times 10^{-12} \text{ g.}$$

$$68,18$$

$$68,48$$

Les valeurs ainsi calculées sont un peu trop faibles car les couches radifères ne sont pas suffisamment minces.

J'ai repris en 1918 mes expériences en opérant sur des quantités beaucoup plus grandes ainsi que me l'avait recommandé M. DANNE et en tenant compte de l'absorption des particules α par les couches superficielles (1).

(1) Voici la marche du calcul, pris dans le traité de Radioactivité de M^{me} Curie : Considérons une couche de substance radifère de surface et d'épaisseur donnée et à l'intérieur de cette couche un élément de volume à la distance x de la face supérieure. Cet élément de volume d'épaisseur dx émettra un rayonnement qui sera partiellement absorbé par les couches sous-jacentes et ce qui étant donné le poids total du précipité 1,503 grammes et la quantité d'eau étudiée 3 litres conduisait pour teneur de Radium en gramme pour litre à la valeur

$$Q = 22,823 \times 10^{-12} \text{ gr.}$$

on aura I étant l'intensité

$$dI = k c \rho s e^{-\mu x} dx$$

où k est le nombre de Geiger, c la concentration en Radium, ρ la densité.

μ le coefficient d'absorption par la substance.

Le rayonnement total sera

$$I = k c \rho s \int_0^x e^{-\mu x} dx = \frac{k c \rho s}{\mu} (1 - e^{-\mu x})$$

et pour x assez grand :

$$I_{\infty} = \frac{k c \rho s}{\mu}$$

$$\frac{I}{I_{\infty}} = (1 - e^{-\mu x})$$

Date du prélèvement 10 Septembre 1918

Quantité d'eau étudiée .. 3 litres

DISQUE I

TEMPS DEPUIS LA PRÉPARATION

INTENSITÉ

0 j 1 h 10'	$0,0032 \times 10^{-11}$ amp.
1 19 30	26
2	27
2 5	31
5 0 40	36
5 4 0	38
8 0 25	42
8 1 15	40
13 1 55	45
30 0 35	49

d'où enfin puisque $m = s \rho x$, m étant le poids de la substance

$$\text{par cm}^2 \mu = -\log_e \frac{1}{x} \frac{1}{1 - \frac{I}{I_\infty}} = -\frac{s l}{m} \log_e \frac{1}{1 - \frac{I}{I_\infty}}$$

$$\text{et } c = \frac{I_\infty}{k m} \log_e \frac{1}{1 - \frac{I}{I_\infty}}$$

Dans le cas particulier, le poids de substance par cm^2 était pour le premier disque

$$\pi_1 = 0,0188 \text{ gr.}$$

$$\pi_2 = 0,0108$$

d'où on déduisait

$$c = 0,455 \times 10^{-10} \text{ gr.}$$

DISQUE II

TEMPS DEPUIS LA PRÉPARATION

INTENSITÉ

0 j 0 h 23	$0,0017 \times 10^{-11}$ amp.
0 0 40	15
2 1 30	11
7 21	24
7 21 40	22
12 22 30	26
17 22 30	27
29 21	29

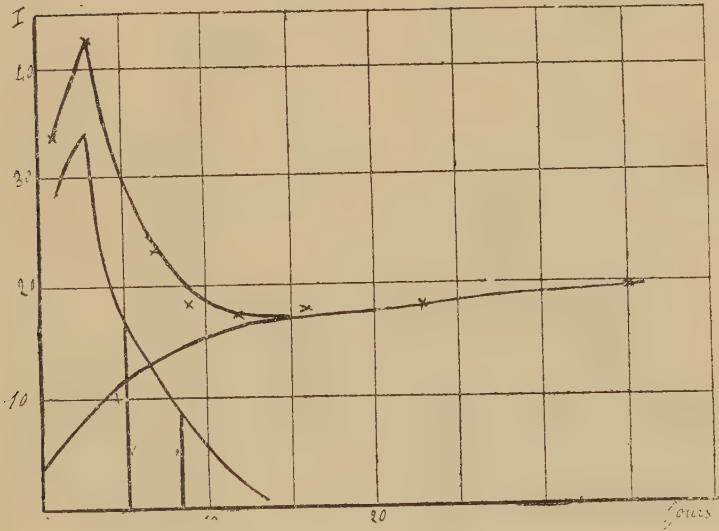


Fig. 9

En tenant compte du coefficient d'absorption, on trouve alors pour quantité de radium dissoute par litre

$$Q = 22,823 \times 10^{-12} \text{ gr.}$$

valeur beaucoup plus faible que précédemment la

teneur en radium dissous dans l'eau de la Grande Source subissait donc des variations.

Des mesures effectuées en 1919 nous donnèrent des courbes absolument différentes des courbes précédentes. Ces courbes, au lieu de croître d'une façon continue, passaient par un maximum au bout de trois jours environ pour diminuer ensuite progressivement (figure 8).

EAU DE LA GRANDE SOURCE DU 13 MAI 1919

TEMPS DEPUIS LA PRÉPARATION	INTENSITÉ
0 j 0 h 57'	$0,0033 \times 10^{-11}$ amp.
2 19	42
6 20 19'	23
8 19 20'	18
11 18 49'	17
15 19 29'	18
22 19 12'	18
24 23 29'	19

L'analyse de ces courbes montra alors que sur le disque se trouvait présent un mélange de radium et de thorium X (isotope du radium et du baryum). L'expression algébrique rendant compte de cette courbe pouvait s'écrire

$$I = I_{\text{Ra}} + \frac{I_0}{\lambda} \left(1 - e^{-\lambda t} \right) + I_0' e^{-\lambda' t}$$

étant la constante du thorium X.

J'avais déjà soupçonné la présence du thorium X dans l'eau de la Grande Source.

Au cours d'expériences faites en vue du dosage de

l'émanation du radium dans les cabines de bains, j'avais constaté qu'un disque chargé négativement, placé très près de la surface de l'eau, se recouvrait d'une radioactivité induite évoluant suivant la loi de désactivation de l'activité induite par l'émanation du thorium.

Etant donné la courte vie de cette dernière émanation, l'eau devait nécessairement contenir du thorium X.

Les dosages de radium effectués sur cette eau nous donnèrent comme quantité de radium dissoute par litre

$$109,1 \times 10^{-12} \text{ gr.}$$

En résumé, nous voyons que l'eau de la Grande Source contient des sels de radium en dissolution d'une façon constante et du thorium X à certains jours que de plus la quantité de radium dissoute oscille dans de larges limites de $22,82 \times 10^{-12}$ gr. à $109,1 \times 10^{-12}$ ainsi qu'en fait foi le tableau suivant :

DATE DU PRÉLÈVEMENT	QUANTITÉ DE RA EN GR.
26 Juillet 1917	$54,95 \times 10^{-12}$
30 — —	68,18
10 Sept. —	68,48
10 Sept. 1918	22,82
13 Mai 1919	109,10

Il est intéressant avant de terminer ce chapitre de comparer la quantité de radium dissoute aux quantités de radium dosées dans les terrains par différents observateurs.

Si nous prenons la moyenne des différentes déterminations, nous obtenons par litre d'eau de la Grande Source une quantité de radium égale à

$$64,7 \times 10^{-12} \text{ grammes.}$$

Le débit quotidien étant de

$$900.000 \text{ litres.}$$

la Grande Source déverse par jour

$$5,82 \times 10^{-5} \text{ grammes de Radium.}$$

Le sous-sol, d'où émerge la source, est constitué par du granit recouvert d'un manteau de schistes arenigiens. D'après STRUTT, la teneur en radium des granits par gramme est de

$$1,7 \times 10^{-12} \text{ grammes.}$$

La Grande Source emprunterait donc chaque jour son radium à

$$3,4 \times 10^7 \text{ grammes}$$

de granit

CHAPITRE III

Etude des gaz dissous dans l'eau de la Grande Source

L'étude des gaz spontanés ayant été faite par CURIE et LABORDE en 1904, je ne m'en suis pas occupé au cours de ces premières recherches et j'en reprendrai l'étude ultérieurement.

Je me suis contenté d'étudier les gaz dissous dans l'eau. C'était la seule étude intéressante au point de vue thérapeutique car seuls les gaz dissous se trouvent dans le bain de Bagnoles au contact de la peau du malade. D'ailleurs, le débit gazeux est extrêmement faible ; lorsqu'on regarde le bassin de captage on n'y voit que quelques bulles éclater à la surface.

Mode opératoire.

Plusieurs litres d'eau de la Grande Source, généralement trois litres, étaient recueillis au robinet de la buvette dans des bouteilles d'un litre obturées par un bouchon à ressort (bouteille à bière); de la sorte le gaz ne pouvait s'échapper. On notait la température de l'eau de la source, la température extérieure,

la pression atmosphérique. La température de la source s'est toujours montrée constante, hiver comme été, et égale à 26 degrés.

L'eau était transportée au laboratoire et étudiée immédiatement ou après un temps variable suivant le temps dont on disposait. Cinq cents centimètres cubes d'eau exactement mesurés étaient versés dans un ballon d'un litre ; ce ballon était fermé par un bouchon percé d'un trou et par ce trou passait l'extrémité inférieure d'un réfrigérant à trois boules. De l'extrémité supérieure de ce réfrigérant partait un tube de verre coudé deux fois à angle droit et connecté par son autre extrémité avec le tube central d'un flacon laveur de DURAND, tube qui plongeait dans du mercure. L'autre tube du flacon laveur était réuni directement avec un condensateur DANNE constitué par un cylindre de laiton de onze centimètres de diamètre et de vingt-et-un centimètres de hauteur et portant suivant son axe une tige de laiton isolée à l'ambre, tige que l'on mettait en communication avec la tige isolée de l'électroscope. Sur le côté, un robinet pointeau permettait l'introduction du gaz. La capacité de ce condensateur est d'environ deux litres. On avait fait préalablement dans le condensateur un vide aussi poussé que possible à l'aide d'une petite pompe. Un ajutage latéral placé sur le tube de verre communiquait avec un manomètre à mercure, simple tube en U, permettant de surveiller la pression dans l'appareil.

On notait exactement l'heure du prélèvement

dans la bouteille, puis on chauffait le ballon. Le gaz se dégageait lentement, déplaçant l'air contenu dans l'appareil et allait s'accumuler sur le mercure dans le flacon laveur de DURAND. Dès que le manomètre indiquait un excès de pression de 4 à 5 centimètres de mercure, par le jeu du robinet pointeau on introduisait le gaz à l'intérieur du condensateur jusqu'à ce que la pression atmosphérique soit rétablie dans le ballon. Cette manœuvre était répétée autant de fois qu'il était nécessaire.

Le dégagement gazeux se faisait brusquement aux environs de 80 degrés, ce qu'indiquait la rapide ascension de la colonne de mercure, puis l'ébullition commençait généralement 25 minutes après le début de la chauffe. Tout en surveillant la pression, on maintenait cette ébullition dix minutes, de façon à chasser complètement les dernières traces de gaz dissous, ce dont il était facile de s'apercevoir car la colonne manométrique restait fixe.

Au bout de ce temps, on séparait du ballon le flacon laveur et on rétablissait la pression atmosphérique dans le condensateur en faisant passer dans le flacon de DURAND un courant d'air desséché et filtré. De la sorte, toute trace d'émanation était balayée.

Le condensateur était alors prêt pour les mesures. Il était placé à cet effet sur l'électroscope de DANNE, relié à la tige isolée par un petit raccord et supporté par un trépied. Une petite cage protégeait autant que possible ces connections contre les fuites électrostatiques.

Préalablement à toutes mesures, il faut naturellement connaître le courant de déperdition pour le retrancher du courant total mesuré. Au début de toute expérience c'est facile, mais lorsqu'on a affaire à des expériences de longue durée, ce courant de déperdition subit des variations quelquefois importantes qui, si on ne s'en méfie pas, peuvent être une cause d'erreur. Nous indiquerons, chemin faisant, comment dans le cas de l'émanation du radium on peut calculer ce courant de déperdition pour la dernière heure de l'expérience.

La première étude des gaz dissous fut faite avec de l'eau puisée le 30 juillet 1918, à 7 heures du matin ; l'ébullition eut lieu presque aussitôt après le même jour à 7 h. 17. L'activité fut suivie pendant cinq jours ; les résultats sont réunis dans le tableau suivant :

TEMPS DEPUIS L'ÉBULLITION

INTENSITÉ

0 j 0 h 11 min.	$0,0211 \times 10^{-11}$ ampères
21	287
41	302
1 20	302
2 6	318
8 16	346
8 30	337
9 27	334
1 3 4	273
2 5 21	242
5 j	161

La courbe (figure 9) était celle de l'émanation du radium.

Connaissant la valeur du courant maximum

$$I_m = 0,0362 \times 10^{-11} \text{ ampères}$$

il était facile de calculer la quantité d'émanation contenue dans le condensateur.

DUANE et LABORDE (22) ont montré que si S est la surface intérieure totale du condensateur, surface latérale, surface de base, surface de l'électrode axiale, V le volume intérieur du condensateur, l'in-

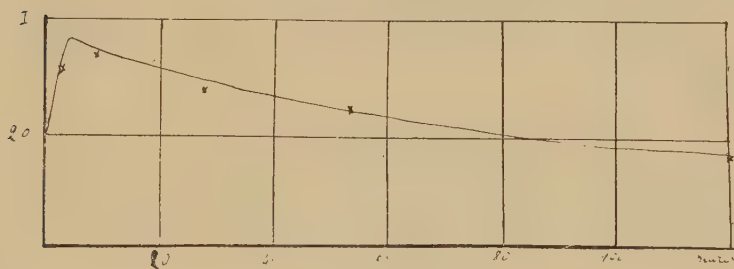


Fig. 10

tensité produite par un curie d'émanation en équilibre avec ses produits est :

$$i = 2,10 \left(1 - 0,572 \frac{S}{V} \right) \times 10^{-3} \text{ ampères, (1)}$$

ce qui permet par une simple proportion de connaître la quantité d'émanation présente :

$$Q = \frac{I_m}{i}$$

La surface intérieure était de 935 centimètres carrés, le volume intérieur de 1993 centimètres cubes, on

trouve que dans le cas présent l'intensité produite par un microcurie d'émanation en équilibre est de

$$1,543 \times 10^{-9} \text{ ampères,}$$

ce qui permet de calculer la quantité d'émanation en microcuries par litre par l'expression

$$Q = \frac{I}{1,543 \times 10^{-9}} \times \frac{2}{e^{-\lambda t}} \quad (2)$$

si on rapporte la quantité dosée au litre et en tenant compte du temps t écoulé entre le prélèvement à la source et la fin de l'ébullition (1).

La valeur de l'intensité du courant maximum étant de

$$0,0362 \times 10^{-11} \text{ ampères,}$$

on trouve, par application de la formule (2), que la quantité d'émanation introduite dans le condensateur est de

$$0,000256 \text{ microcuries,}$$

ce qui correspond par litre à

$$0,000512 \text{ microcuries,}$$

le temps écoulé entre le prélèvement et la fin de l'ébullition étant très petit, le terme $e^{-\lambda t}$ était très voisin de l'unité.

Une autre expérience, le 23 juillet 1918, nous donna comme quantité d'émanation dissoute

$$Q = 0,0004914 \text{ microcuries.}$$

(1) Le facteur 2 s'introduit dans la formule (2) parce que les dosages ont été effectués sur un demi-litre.

Enfin, en mai 1919, nous trouvâmes une valeur beaucoup plus grande :

$$Q = 0,000813 \text{ microcuries.}$$

La teneur en émanation de l'eau de la Grande Source présentait donc des variations.

Ces variations, rien ne permettait de les expliquer. Nous avons vu que la température de la source reste constante, d'autre part, ces fluctuations de la radio-activité ne semblaient pas sous la dépendance des variations de la pression barométrique. Il était donc nécessaire de procéder à des recherches systématiques.

CHAPITRE IV

Action de la pluie.

Les premières expériences datent de juin-juillet 1919. L'émanation dissoute dans l'eau de la Grande Source était dosée tous les jours. L'eau était prise à heure fixe et les recherches antérieures nous ayant montré que l'émanation dissoute était celle du radium, une seule mesure était faite trois heures après l'introduction du gaz dans le condensateur, c'est-à-dire lorsque le courant d'ionisation était maximum. C'est pour cette raison que nous n'avons pas remarqué dès le début de nos expériences l'anomalie dans l'allure de la courbe d'activité qui nous a amené comme nous le verrons plus loin à la découverte probable d'une nouvelle émanation. Les expériences relatées dans ce chapitre n'ont trait qu'à l'émanation du radium.

Il fallait pour une mesure précise calculer le courant de déperdition à l'instant même de la mesure du courant maximum.

Si nous nous reportons au début de ce travail, nous voyons qu'après activation saturée, c'est-à-dire après que l'activité induite due à l'émanation du radium est en équilibre avec l'émanation dont elle provient, la courbe de désactivation décroît très rapidement pendant les premières minutes qui suivent la fin de cette activation.

CURIE et DANNE ont montré que 15 minutes après la fin de cette activation le courant est tombé à la moitié de sa valeur initiale. Nous savons d'autre part que le courant maximum mesuré trois heures après l'introduction de l'émanation dans le condensateur est dû à la fois au rayonnement propre de l'émanation et au rayonnement dû à la radioactivité induite en équilibre avec cette émanation de sorte qu'il y a activation saturée des parois internes du condensateur.

Nous pouvons donc écrire :

$$I_m = I_0 e^{-\lambda t} + I_{ind};$$

pour $t = 3$ heures, $e^{-\lambda t}$ se calcule par les tables et l'on trouve que le courant dû au radium A, B, C. constitue les 57/100 du courant total. Ceci posé, la mesure de l'intensité totale une fois effectuée, c'est-à-dire la somme de l'intensité due à l'émanation et de celle due à la deperdition, vidons le condensateur, puis remplissons-le d'air inactif. L'émanation est enlevée, reste seule l'activité induite et le courant qu'elle produit est égal à 0,57 I_m . Mesurons alors le courant d'ionisation 15 minutes après avoir enlevé l'éma-

nation. Le courant observé alors sera la moitié du courant initial I_{ind} . Si nous posons :

$$I_m = I_t - I_{dep},$$

nous avons :

$$\frac{1}{2} 0,57 \times I_m = 0,285 I_m = I_2 - I_{dep},$$

d'où, en divisant membre à membre,

$$I_{dep} = \frac{I_2 - 0,285 I_t}{1 - 0,285};$$

nous admettons, bien entendu, que pendant les 15 minutes que dure l'expérience le courant de déperdition n'a pas varié.

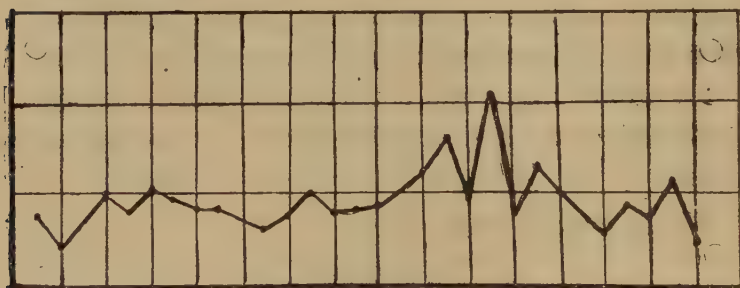


Fig. 11

Le résultat des mesures de 1919 est traduit par le graphique ci-joint (figure 11).

Cette première série d'expériences montrait que la teneur en émanation de l'eau de la Grande Source subissait des variations importantes que l'on ne pouvait relier à une cause extérieure quelconque, pression ou température ; le problème restait entier. C'est pourquoi l'été suivant j'entrepris une série de dosages pendant les mois de juillet, août et septem-

bre. Mes études portèrent sur deux sources, la Grande Source thermique et la source des Fées. Cette dernière source est une source ferrugineuse froide, située à deux cents mètres au nord de la précédente, près du torrent de la Vée. Un essai, effectué le 18 juillet, me montra qu'elle contenait également de l'émanation du radium.

Il était très important de comparer la variation de la teneur en émanation de ces deux sources, car on pouvait penser à priori que, n'ayant pas la même origine, la Grande Source, plutonienne, et la source des Fées, neptunienne, auraient un régime absolument différent et que, peut-être, on trouverait par cette étude un moyen pratique de différencier les sources d'origine profonde des sources superficielles.

Il était également très important de connaître la quantité de pluie tombée chaque jour, car il était à prévoir, comme l'avait déjà remarqué RAMSEY, puis PERRET et JACQUEROD que, pour les sources superficielles, la radioactivité était fonction du débit et de la quantité de pluie tombée. Un pluviomètre fut donc installé dans le jardin de l'Etablissement et la hauteur de pluie soigneusement mesurée chaque jour.

Le résultat des mesures est traduit par les deux graphiques ci-joints :

D'une façon générale, nous voyons que pour la Grande Source, comme pour les Fées, la teneur en émanation subit de grandes variations, tout en ne descendant pas au-dessous d'une certaine valeur,

GRANDE SOURCE

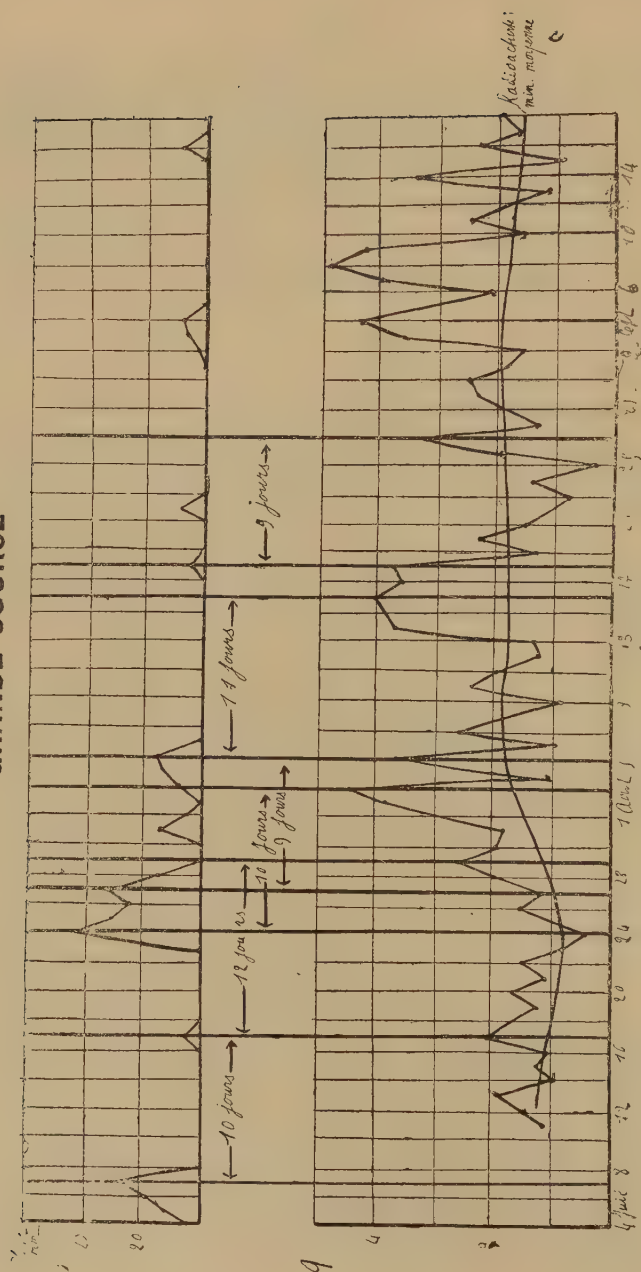


Fig. 2

valeur minima moyenne, calculée en prenant la moyenne des petites oscillations.

Cette valeur minima moyenne a été pour la Grande Source de :

1,12 millimicrocuries en Juillet,
1,82 — — Août-Septembre,

et pour les Fées de :

1,4 millimicrocuries en Juillet,
2,52 — — Août-Septembre,

elle est donc nettement supérieure pour les Fées, source froide.

Le coefficient de solubilité de l'émanation dans l'eau est d'après HOFFMANN :

0,234 à 13°
0,202 à 26°

et le rapport égal à 0,86.

Si nous calculons le rapport des quantités d'émanation dissoute dans la Grande Source à celles dissoutes dans l'eau de la source des Fées, nous trouvons :

Pour Juillet..... 0,80,
Pour Août-Septembre.. 0,72.

En première approximation, les valeurs minima moyenne sont proportionnelles au coefficient de solubilité.

Quant aux variations, pour l'une comme pour l'autre source, l'inspection des graphiques montre qu'elles sont en rapport avec les chutes de pluie.

Prenons d'abord la source des Fées, nous trou-

SOURCE DES FÉES

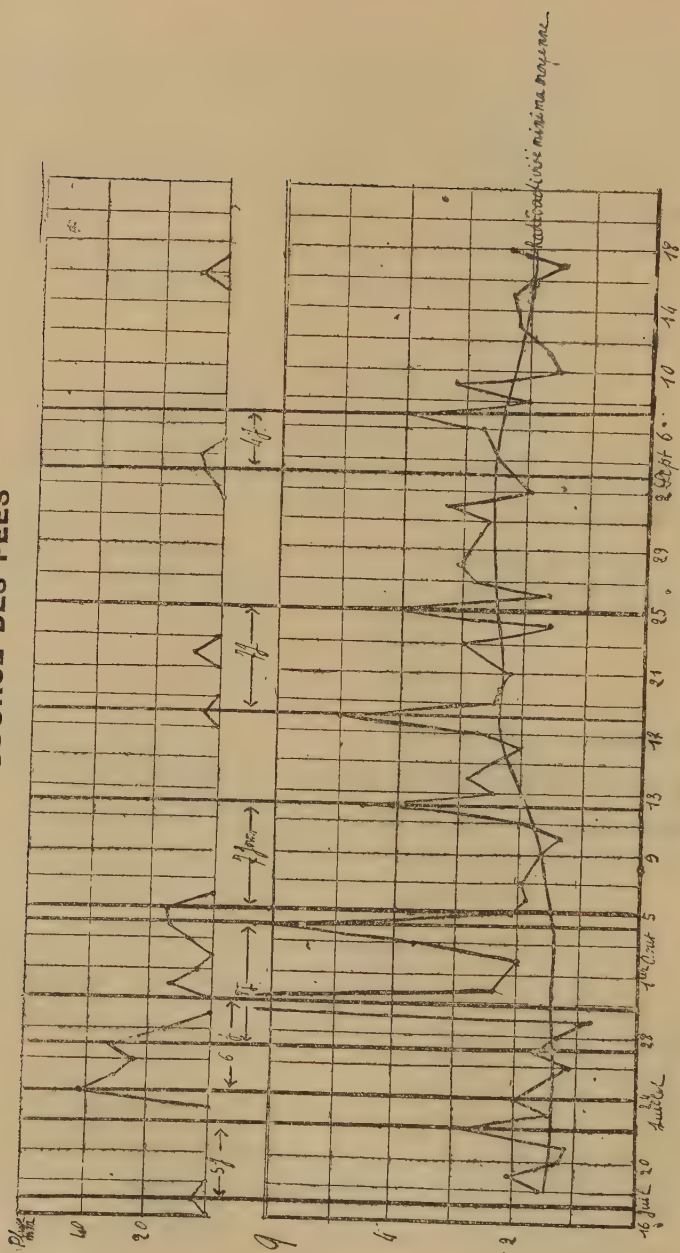


Fig. 13

vous une série de maximum les 22 et 30 juillet, le 4, 12, 18 et 25 août, le 1^{er} et 7 septembre. A part les maximums du 18 août et du 7 septembre, tous se relient aux chutes de pluie tombées quelques jours avant et varient dans le même sens qu'elles, la moyenne étant de 6,6 jours.

HAUTEUR DE PLUIE EN MILLIMÈTRES		QUANTITÉ D'ÉMANATION DISSOUTE EN MILLIMICROCURIÉS		INTERVALLE
17 Juillet	4 m/m	22 Juillet	2,75	5 jours
24 —	42	30 —	14,20	6
27 —	32	4 Août	6,28	8
5 Août	15	12 —	4,53	7
18 —	4	25 —	3,93	7

Pour la Grande Source nous observons de même des oscillations, mais de moins grande amplitude, oscillations en rapport également avec la pluie.

HAUTEUR DE PLUIE EN MILLIMÈTRES		QUANTITÉ D'ÉMANATION DISSOUTE EN MILLIMICROCURIÉS		INTERVALLE
7 Juillet	27 m/m	17 Juillet	2,07	10 jours
17 —	4	29 —	2,62	12
24 —	42	3 Août	4,49	10
27 —	32	5 —	3,65	9
5 —	15	16 —	4,07	11
18 —	4	27 —	3,17	9

De plus, si, pour les Fées comme pour la Grande Source, nous retranchons des valeurs maxima observées, la valeur minima moyenne à la même époque, nous voyons que l'excès de radioactivité ainsi calculée varie dans le même sens que la hauteur de pluie à laquelle il correspond.

SOURCE DES FÉES

DATE	QUANTITÉ MESURÉE	QUANTITÉ EN EXCÈS	HAUTEUR DE PLUIE	R.
22 Juillet	2,75	1,40	4 m/m	0,35
30 Juillet	14,20	13,08	42	0,30
4 Août	6,28	4,88	32	0,13
12 Août	4,53	2,01	15	0,13
25 Août	3,93	1,41	4	0,35

GRANDE SOURCE

17 Juillet	2,07	0,95	27 m/m
29 Juillet	2,62	1,22	4
3 Août	4,49	1,89	42
5 Août	3,65	1,9	32
16 Août	4,07	1,67	15
27 Août	3,17	1,87	4

Pour la source des Fées, à part les chiffres du 4 août et du 12 août, il y a proportionnalité. Pour la Grande Source, la proportionnalité est moins visible, ce qui tient sans doute à ce qu'à l'émanation recueillie par la pluie en filtrant à travers les terrains radifères vient se surajouter l'émanation produite par le radium dissous dans l'eau. Il est d'ailleurs facile de calculer cette quantité de radium dissous en dosant à quelques jours d'intervalle l'émanation de deux bouteilles prises simultanément le même jour, à la condition expresse toutefois que la fermeture des deux bouteilles soit parfaitement étanche. Soit, en effet, Q_1 la quantité d'émanation dosée lors du premier dosage, Q_2 la quantité dosée lors du second, t l'intervalle entre les deux mesures.

Au bout du temps t a disparu une quantité d'émanation égale à

$$Q_1 e^{-\lambda t},$$

mais, d'autre part, la quantité X de radium dissous, en se désintégrant, produit une quantité d'émanation égale à (1)

$$\frac{\lambda X}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$$

d'où

$$Q_2 = Q_1 e^{-\lambda t} + X (1 - e^{-\lambda t})$$

et

$$X = \frac{Q_2 - Q_1 e^{-\lambda t}}{1 - e^{-\lambda t}}$$

Nous voyons donc que, tant pour la source froide que pour la source chaude, les variations de la teneur en émanation sont sous la dépendance des chutes de pluie.

Dans le cas de la source des Fées, les oscillations sont importantes, car cette source doit en partie son débit aux eaux météoriques. Il est donc tout naturel qu'une chute de pluie un peu importante amène aux Fées une grande quantité d'émanation qui ne se di-

(1) La démonstration de la formule

$$Q = \frac{\lambda X}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$$

est analogue à celle de la formule

$$Q = \frac{P \Delta}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$$

qui a été donnée plus haut.

luant pas ou presque pas dans des eaux profondes fournit à l'eau une grande radioactivité. L'eau thermique, avec son fort débit, sa température constante, a tous les caractères d'une eau plutonienne. Mais cependant une faible quantité d'eau superficielle, trop faible pour faire varier son débit et sa température, traversant des terrains radifères riches et laissant l'émanation se dissoudre facilement, suffit à modifier sa radioactivité.

CHAPITRE V

Radioactivité et Géologie.

Nous venons de voir que la Grande Source et les Fées sont radioactives. Cette radioactivité est-elle générale et commune à toutes les sources du pays ? Dans ce dernier cas, peut-on de l'étude systématique de ces sources en tirer des conclusions touchant l'origine de la source thermale ? Telles sont les deux questions que nous nous sommes posées cette année. Nous avons étudié dans ce but deux groupes de sources, un premier groupe au voisinage des sources minérales le long de la rivière la Vée. Un second aux environs de Lignou, hameau situé à 3 kilomètres au sud-est. Ces sources ont été étudiées à deux reprises, en juillet et en octobre, et à chaque fois furent faits au moins deux dosages. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

NOM DE LA SOURCE	NATURE DU TERRAIN	quantité d'émanation en milli- microcuries par litre.	
		JUILLET	OCTOBRE

PREMIER GROUPE (*Groupe de Bagnoles*)

Source du Bézier	Grès de May	0,70	0,21
Source des Fées	Grès arenigien	1,77	1,29
Grande Source	Grès arenigien	0,98	1,00
Puits Joly	Granit	0,54	0,72
Source Desnos	Limite du granit et du grès	3,10	2,78

DEUXIÈME GROUPE (*Groupe de Lignon*)

Source du Vieil Etre	Granit	0,75	tarie
Source de Lignon	Schistes micacés	1,15	0

Un premier fait frappe tout d'abord ; les sources étudiées sont toutes radioactives, mais à des degrés différents.

Les sources très superficielles (Bézier, Vieil-Etre, Lignon), ont vu leur radioactivité baisser considérablement au cours de l'été, en même temps que leur débit et cela évidemment parce qu'elles empruntent leur émanation aux premières couches du sol.

Au contraire, la Grande Source, les Fées, le puits Joly, la source Desnos (la plus active) n'ont subi aucune variation ni dans leur débit, ni dans leur radioactivité. Cela tient à ce qu'elles sortent toutes du granit, qu'elles sont par conséquent d'origine profonde et que la valeur minima moyenne de leur teneur en émanation reste constante parce qu'emprun-

tée aux roches granitiques qui, comme on le sait, sont les roches communes dont la teneur en produits radioactifs est la plus grande (STRUTT).

Nous avons pu, pour ainsi dire, dissocier cet été la radioactivité de nos sources dont l'étude de 1920 nous avait montré les variations avec la pluie et nous voyons que, suivant la nature des terrains d'où elles émergent, les sources bagnolaises ont un régime radioactif différent. Les unes ne contiennent que l'excès de radioactivité, excès apporté par la pluie qui suit les mêmes lois que le débit. Nous l'appellerons *radioactivité neptunienne*. Les autres sources, en plus de cette radioactivité neptunienne, possèdent une radioactivité constante, permanente comme leur débit, que nous pourrions appeler *radioactivité bathydrique*.

En résumé, de toute cette étude, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

1° La Grande Source contient en dissolution des sels de radium et sa teneur en sels de radium varie suivant les jours ;

2° La Grande Source contient en dissolution de l'émanation du radium. Sa teneur en émanation présente des variations, les maxima survenant dix jours en moyenne après une chute de pluie ;

3° Les Fées contiennent également de l'émanation en quantité variable, les maxima survenant six jours après la pluie. Grande Source et Fées ont donc, au point de vue de leur radioactivité, un régime ana-

logue. Seul varie l'intervalle entre la chute de pluie et le maximum qui lui correspond ;

4° Les sources du pays sont radioactives à des degrés différents et leur étude permet de distinguer une radioactivité neptunienne et une radioactivité profonde bathydrique, cette dernière étant la signature de l'origine interne des sources qui la contiennent ;

5° C'est à ce second groupe que l'étude des variations permet de rattacher les sources de Bagnoles utilisées au point de vue thérapeutique.

CHAPITRE VI

L'Emilium.

Au cours des recherches de cet été, recherches qui, comme nous venons de le voir, ont eu pour objet l'étude des sources des environs de Bagnoles, j'ai été amené pour caractériser l'émanation dissoute à construire la courbe d'activité pendant les trois premières heures qui suivent l'introduction de l'émanation dans le condensateur. On sait que l'activité produite par l'émanation du radium s'accroît régulièrement pendant ces trois premières heures. Nous avons obtenu le plus souvent cette courbe régulière. Dans un certain nombre de cas (St-Ursin, 17 septembre 1920 ; Bézier, 2 juillet ; Lignou, 13 juillet ; Vieil-Etre 13 juillet et 4 août ; Joly, 22 juillet et 20 octobre ; Grande Source, 22, 24, 29, 31 août), nous avons obtenu une courbe complexe décroissante d'abord, puis croissante, maxima aux environs de 40 minutes, pour décroître ensuite. Comme la désactivation du condensateur nous avait montré, qu'au bout de trois heures, l'éma-

nation présente était celle du radium, il était facile de calculer l'activité due à cette émanation et d'en déduire par différence les valeurs de la courbe complémentaire. Nous avons obtenu ainsi une courbe complexe qui, pour des temps supérieurs à 45 mi-

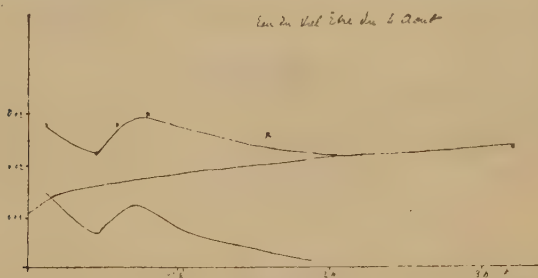


Fig. 14

nutes décroissait exponentiellement de moitié en 29 minutes environ comme le montre la courbe des logarithmes de l'intensité en fonction du temps qui est une droite (fig. 13 et 14). Nous avons vérifié par

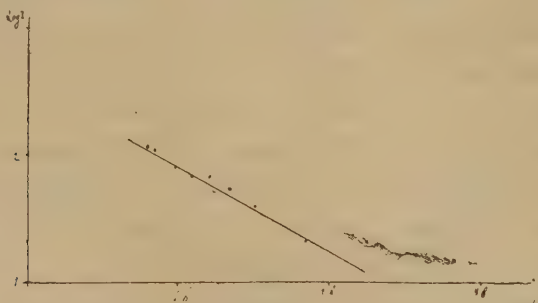


Fig. 15

de nombreuses expériences que la courbe ainsi obtenue ne pouvait être due à une erreur de technique, soit en faisant bouillir de l'eau distillée dans notre appareil, soit en faisant bouillir une

solution de chlorure de thorium contenant du thorium X ; dans ces deux cas nous n'avons pu déceler aucune activité. En faisant bouillir la même eau à diverses reprises, nous avons obtenu une série de courbes décroissantes exponentielles de période 29 minutes, l'activité mesurée devenant de plus en plus faible à mesure que l'on s'éloignait de la date du prélèvement pour devenir nulle au bout de 20 jours, par conséquent le corps générateur donnant naissance à l'anomalie constatée se trouvait en dissolution dans l'eau de nos sources et devait se détruire progressivement.

Nous avons vu que tous les corps générateurs d'émanation sont isotopes du baryum.

L'anomalie constatée sur nos courbes étant due vraisemblablement à une nouvelle émanation, il était permis de penser que le corps qu'il lui donnait naissance serait comme les corps homologues, précipitable par le baryum, c'est ce que l'expérience vérifia. En préparant des disques comme il a été dit plus haut, nous obtînmes une courbe d'activité irrégulière au début, puis décroissant exponentiellement de moitié en six jours.

BATELLI, OCCHIANELLI et CHELLA (1) ont cru déceler dans l'eau de San Giulano une émanation de période égale à six jours, et dont la radio-activité induite décroissait de moitié en 37 minutes.

Pour étudier l'émanation, ils avaient recueilli les

(1) *Loco citato.*

gaz de la source dans un gazomètre reposant sur l'eau de la source elle-même et introduisaient à chaque mesure une certaine quantité de ce gaz dans leur appareil. Il est bien évident que, dans ces conditions, l'émanation du gazomètre se trouvait en quantité proportionnelle à la quantité du corps générateur dissous dans l'eau et que par conséquent ce qu'ils déterminaient, c'était non pas la période de l'émanation, mais celle du corps générateur. Leurs expériences concernant l'activité induite sont hors de discussion, cette radioactivité induite ayant été recueillie en plaçant au-dessus du griffon un fil porté à un haut potentiel négatif. On sait que dans ces conditions, les particules résultant de la désintégration des émanations présentes dans l'air entourant le fil sont attirées par action électrostatique et viennent se déposer sur le fil. Nous voyons sur mes courbes un maximum aux environs de trente minutes, ce qui implique alors un équilibre entre deux substances A et B. Admettons que la période de l'activité induite soit de trente-sept minutes, nous en déduisons pour celle de l'émanation une valeur de vingt-deux minutes (d'après le calcul connu de la théorie des transformations des substances radioactives). (1).

Tous ces résultats, tant théoriques qu'expérimentaux, concordaient à indiquer l'existence probable

(1) ALLEN étudiant la radioactivité de l'air à Cincinnati a recueilli sur des fils de cuivre chargés négativement une radioactivité induite diminuant de moitié en 38' minutes (*Physical Review*, 1908).

d'une nouvelle substance radioactive, *l'émilium*. Néanmoins les mesures concernant cette anomalie sont très délicates, parce que les intensités observées sont très faibles, il faudra donc pour vérifier les résultats précédents chercher dans les granits au voisinage des sources les substances à vie longue dont doivent nécessairement dériver celles rencontrées dans les eaux. Cette étude est déjà commencée et les premiers résultats encourageants permettront bientôt, je l'espère, la concentration de ces substances en quantité suffisante pour en permettre facilement l'étude.

TROISIÈME PARTIE

La radioactivité des Eaux minérales agent thérapeutique

Nous venons de voir dans le cours de ce travail que la plupart des eaux minérales sont radioactives et, pour Bagnoles en particulier, nous venons d'étudier à fond les différentes modalités de cette radioactivité ; nous venons d'approfondir en quelque sorte à ce point de vue la *physiologie* de la source. Quelle est maintenant la part qui revient à cet ensemble de phénomènes dans l'action thérapeutique.

La réponse n'est pas facile car, malgré le nombre énorme de travaux parus à l'étranger, il y a encore beaucoup à faire.

Les quelques idées que je vais développer ne constituent donc qu'une esquisse bien incomplète, *un plan* que je me propose de suivre au cours des études ultérieures que me suggérera ma pratique médicale.

D'abord une première question. Comment sont absorbées aux stations thermales les substances radioactives ? Par ingestion, par contact, par inhalation.

Les substances radioactives absorbées par ingestion, en boisson, vont suivre la destinée des autres sels dissous dans l'eau. En suivant le tube digestif, elles seront absorbées au niveau des muqueuses stomacales, duodénales et jejuno-iléales, et s'en iront par la veine porte traverser la glande hépatique.

Il faut alors se rappeler que, si nous mettons de côté le cas extrêmement rare où nous avons du radium dissous, l'eau des sources ne contenant généralement que l'émanation du radium, cette émanation donne naissance à des produits solides, radium A B C, produits que l'étude chimique a montré analogues aux métaux lourds, plomb, bismuth, polonium et qui, comme ces métaux, vont aller s'emmagasinier dans le foie et, comme ces produits de désintégration en se transformant les uns dans les autres continuent à rayonner, il n'est pas impossible, il est même certain, que le rayonnement qu'ils émettent influe sur les processus vitaux dont le foie est le siège.

Les substances radioactives peuvent être absorbées par contact au niveau de la surface cutanée. Cette absorption par la peau qui pour les sels n'existe pas, a été prouvée pour les gaz, et c'est évidemment par ce mécanisme qu'à Bagnoles (où l'on ne boit pas et c'est un tort), l'émanation doit être en partie absorbée, une autre partie se répandant dans l'atmosphère

de la cabine et pénétrant dans l'organisme par la voie pulmonaire. Dans le bain prolongé, qui constitue en somme la seule pratique Bagnolaise, la surface cutanée se trouve en contact avec les gaz dissous dans l'eau, gaz qui viennent se coller à la peau sous forme de petites bulles et qui, comme j'ai pu le vérifier expérimentalement, n'ont perdu au cours du transport de l'eau du griffon à la baignoire qu'une faible part de leur émanation.

Leur rayonnement atteint les premières couches cutanées y produisant certainement à la longue des modifications (à étudier) dont nous voyons le résultat à la fin de la cure. De plus, d'après KEMEN (73), une faible quantité d'émanation diffuse à travers la peau et pénètre dans le sang artériel et veineux et, par leur intermédiaire, à travers tout l'organisme.

Une autre voie de pénétration de l'émanation dans l'économie, c'est la voie pulmonaire. J'ai montré au début de cette étude tout l'intérêt que présente la notion d'hororadioactivité (70) car cette notion permet de se rendre compte de la quantité d'émanation rejetée par heure dans l'atmosphère. Pour les sources fortement radioactives et pour les sources faiblement actives, mais à fort débit, cette quantité n'est nullement négligeable. Prenons par exemple le cas de Bagnoles et, parmi les sources de la station, la Grande Source thermale. Avec sa teneur moyennue en émanation de 1,8 millimicrocurie et son débit de 26.000 litres à l'heure, c'est 468 microcuries qui s'échappent par heure dans l'atmosphère et c'est certai-

nement un chiffre inférieur à la réalité car nous ne faisons pas intervenir dans ce calcul l'hororadioactivité des autres sources.

Cette radioactivité de l'atmosphère est d'ailleurs suffisante pour être décelée à l'électroscope. En comparant la déperdition de mes électroscopes à Bagnoles, à la Gueronnière et à Paris, à la Faculté, j'ai pu constater que le courant de déperdition à Bagnoles était en moyenne deux fois plus intense qu'à Paris, ce qui, correction faite de la fuite le long de l'isolant, indique une radioactivité quatre fois plus forte. Les corrections à faire aux mesures n'ont pas d'autre cause que celle-là et la grandeur de ces corrections donne une idée approximative, mais suffisante pour la clinique, de la teneur de l'air d'une station en corps radioactifs.

Donc un malade séjournant dans une station radioactive respire un air chargé d'émanation et de particules de radioactivité induite. Et cette radioactivité pénétrant par le poumon passe dans la circulation générale. Que devient-elle et qu'elle est son action ? C'est le moment de se rappeler les expériences de CURIE, BOUCHARD et BALTHAZARD en 1901 (69), qui, faisant respirer à de petits animaux des doses toxiques d'émanation montrèrent, en impressionnant au moyen des organes de ces animaux recueillis à l'autopsie des plaques photographiques, que les corps radioactifs étaient emmagasinés dans les poils et la surrénale. Les symptômes agoniques présentés par ces animaux étaient calqués dans une cer-

laine mesure sur ceux des addisonniens ou ceux que présentent des animaux décapsulés. Or, dans leur expérience, la quantité d'émanation utilisée était telle que les cellules surrénales avaient dû être détruites par le rayonnement. Mais qui ne dit que les faibles quantités de corps radioactifs qui au cours de la cure pénètrent dans l'économie, ne vont pas, étant donné leur petitesse, exciter le fonctionnement de cette glande surrénale comme elles excitent celui de la glande hépatique. Rappelons-nous à ce point de vue les expériences de LAZARUS BARLOW (67), qui ont montré que les doses très faibles de rayonnement ont une action excitante sur le noyau cellulaire. Par exemple, si l'on introduit dans la vésicule biliaire d'un lapin un calcul humain auquel on a incorporé du radium, on obtient une prolifération des cellules endothéliales de la vésicule.

Il est évidemment bien dangereux de vouloir expliquer par une action de la radioactivité sur les glandes endocrines l'action générale des cures thermales en dehors de leur action spécifique, car je le dis dès maintenant, la radioactivité n'explique l'action spécifique des eaux que dans un seul cas, le rhumatisme et, en particulier, dans l'état actuel de la science, la cause des cures merveilleuses qu'on obtient à Bagnoles dans les suites de phlébite nous demeure encore inconnue. Quelques travaux récents (72) (74) ont mis en évidence l'effet des cures thermales sur les glandes endocrines et puisque des faits bien démontrés prouvent l'emmagasinement des pro-

duits radioactifs dans deux de ces glandes au moins, le foie et la surrénale, il est tout naturel que nous cherchions à attribuer à cette accumulation un effet physiologique.

A l'action sur le foie se rattache le pouvoir dissolvant de l'émanation sur l'acide urique. Nombreux sont les auteurs qui ont étudié la question, et pour ne citer que les auteurs français, SARVONAT et REBATTE (78) ont montré que, sous l'influence du séjour de goutteux dans un émanatorium, on voit une décharge d'acide urique se produire quelques jours après le début de la cure en même temps que l'uricémie tend à diminuer et que, chez les rhumatisants porteurs de tophi, les concrétions d'urate de soude disparaissent. Or, pour expliquer cette disparition, les expériences de MESERNITZKY (75) ne suffisent pas. Cet auteur a bien montré, qu'*in vitro*, 29 milligrammes de monourate de soude étaient détruits au bout de 12 jours, sous l'action du rayonnement de 50 millicuries d'émanation. Autrement dit, *in vitro*, il faut une quantité relativement énorme d'émanation, agissant pendant un temps considérable, pour détruire une très petite quantité d'urate de soude. Il est donc nécessaire pour expliquer les résultats cliniques d'admettre l'intervention d'un processus vital, une activation des ferments uricolytiques, ferments sécrétés par le foie.

Dans les stations radioactives, on observe des effets du même ordre. Généralement six à huit jours après l'arrivée à la station, tous les rhumatisants, tous les goutteux ont une décharge urique. Il en est ainsi a

Bagnoles. Je dois à l'amabilité du Docteur QUISERNE quatre observations montrant nettement cette élimination de l'acide urique.

OBSERVATION I

M. X..., agriculteur, 63 ans.

Varices douloureuses chez un obèse, crises de goutte à diverses reprises, déformation des orteils.

DATES	ACIDE URIQUE DE 24 p.
20 Août	0,65 grammes
25 Août	0,90 —
1 ^{er} Septembre	0,70 —
8 Septembre	0,50 —

OBSERVATION II

M. X..., 60 ans.

Varices très développées, hémorroïdes, obésité, crises de périphlébite variqueuse d'origine goutteuse, pas de crise de goutte :

7 Juillet	0,80
10 Juillet	1,10 dépôt
18 Juillet	0,75
25 Juillet	0,50

OBSERVATION III

M. X..., Colonel, 59 ans.

Phlébite et périphlébite goutteuse, crises de goutte, varices, hémorroïdes, déformation des orteils, nombreux tophi.

20 Juin	0,75
24 Juin	1,05
29 Juin	0,60
6 Juillet	0,40

OBSERVATION IV

M. X..., industriel, 52 ans.

Obèse, légère hypertension, varices douloureuses, rhumatisme goutteux, constipation.

10 Juillet	0,95
15 Juillet	1,00
22 Juillet	0,70
29 Juillet	0,70

Voilà donc quatre observations dans lesquelles le rythme d'élimination de l'acide urique est identique à celui observé par les auteurs lyonnais au cours des cures dans l'émanatorium.

Mais, dira-t-on, la quantité d'émanation que respire vos malades est infiniment faible relativement à celle dont est chargé l'atmosphère d'un émanatorium et qui peut atteindre un microcurie par litre. Oui, mais le séjour dans l'émanatorium ne dure que deux heures, de plus on a montré que la quantité d'émanation présente dans le sang, à la fin de la séance d'inhalation disparaît très rapidement, s'échappant par les poumons, si bien que l'énergie fixée par l'organisme constitue seulement le 1/80^e de celle que dégageraient les produits inhalés. Au contraire, le malade aux stations thermales reste continuellement ou presque dans un milieu faiblement radioactif pendant les 21 jours que dure sa cure, si bien qu'il supplée en quelque sorte à la faible teneur en émanation de l'émanatorium naturel, dans lequel il vit, par la durée de cette inhalation. Il est d'ailleurs vraisemblable que cette durée intervient par elle-

même dans le mécanisme de l'action de la radioactivité aux stations thermales et que ce qui se passe est tout à fait identique à ce que REGAUD (76) a observé dans la curiethérapie des cancers ; lorsqu'il a noté que de fortes doses d'énergie rayonnante agissant pendant un temps court ont une action thérapeutique beaucoup moindre que des doses d'énergie rayonnante plus faibles utilisées pendant un temps prolongé, de manière à avoir la même dose totale.

En rapport avec la disparition de l'acide urique de l'organisme ou tout au moins sa diminution se note la diminution concomitante de la pression artérielle qui, comme l'on sait, semble conditionnée par l'uricémie.

Or les hypertendus arthritiques, goutteux, sont très nettement améliorés aux cures thermales. C'est un fait bien connu. Le Docteur QUISENE m'a donné deux observations de malades hypertendus chez lesquels la cure de Bagnoles avait amené pour l'un un abaissement de deux centimètres de mercure, pour l'autre de quatre centimètres pour la tension maxima, tandis que la tension minima restait invariable.

Les malades normaux, quant à leur tension, ne présentent à Bagnoles aucune modification.

Les hypotendus aux stations thermales voient le plus souvent leur tension maxima revenir à la normale. Je n'ai malheureusement à ce sujet aucune observation de malades traités à Bagnoles, mais ce que j'avance est bien connu des médecins d'eaux.

Or, cette hypotension survenant chez des fatigués,

des déprimés, traduit le plus souvent une légère insuffisance surrénale, surtout lorsque cette hypotension s'accompagne d'asthénie.

Evidemment, dans ces cas-là, le repos intervient pour beaucoup dans la guérison, le changement de vie, les relations nouvelles entrent en ligne de compte, mais à tous ces facteurs si importants soient-ils se surajoute l'effet du climat. N'est-il pas permis de penser que la radioactivité qui dans ce climat tient la place importante que nous avons vue tout à l'heure, agit elle aussi et que c'est justement sur cet organe où nous l'avons vue se concentrer de préférence, la surrénale, que là encore elle ira jouer un rôle important.

Tout cela est encore de l'hypothèse et devra être vérifié par de patientes recherches, mais une hypothèse que rien n'infirme à priori, bien au contraire. Ce sera l'œuvre des prochaines années d'apporter à cette hypothèse les vérifications de la clinique et celles de l'expérience.

CONCLUSIONS

Arrivés au terme de cette étude, nous pouvons en tirer, tant au point de vue physique qu'au point de vue thérapeutique, deux séries de conclusions.

Au point de vue physique, la lecture des mémoires dont nous n'avons donné qu'un rapide aperçu, nous montre combien nombreuses sont les sources radioactives au point que l'on a pu dire qu'à un degré plus ou moins élevé toutes les sources sont radioactives, ce qui est la conséquence logique de la dissémination des substances radioactives dans les matériaux constituant la croûte terrestre. L'œuvre la plus importante est de classer ces sources non pas seulement suivant leur radioactivité croissante ou décroissante, mais suivant la nature du sol duquel elles émergent, éruptive ou sédimentaire. Ceci fait, il sera nécessaire pour chaque type de source d'étudier à fond les variations d'activité, étude qui renseignera sur la structure du sous-sol constituant le bassin d'a-

limentation de la source et la circulation des eaux dans les terrains.

Cette étude, en ce qui concerne Bagnoles, montre que la radioactivité de la Grande Source est en partie d'origine profonde, en partie d'origine superficielle, cette dernière fonction de la pluie, de sorte que par l'étude de la radioactivité nous pouvons placer cette source dans le groupe des eaux mixtes, fait que laisse prévoir sa température.

Au point de vue thérapeutique, deux séries de conclusions également. Les principales sources utilisées au point de vue médical sont moyennement radioactives et toutes ont comme indications principales ou secondaires l'arthritisme, le rhumatisme, ce que les travaux des Allemands et les études de SARVONAT et REBARTU permettent d'expliquer d'une manière logique. L'expérience montre qu'en particulier pour Bagnoles, le rythme d'élimination de l'acide urique dans les urines est analogue à celui obtenu par inhalation d'émanation. A ce point de vue, c'est la radioactivité de l'atmosphère qui doit jouer un rôle essentiel.

Quant à la seconde conclusion elle sera malheureusement beaucoup moins nette. Dans l'état actuel de la science, l'action spécifique de Bagnoles-de-l'Orne ne peut s'expliquer par la présence du radium ou de son émanation. Pour se faire une idée de l'influence de la radioactivité dans la cure des suites de phlébite, influence qui bien certainement existe, mais qui se trouve encore cachée, seules des études prolongées

cliniques et expérimentales permettront de trancher la question. L'étude que nous venons de faire en constitue le préambule en donnant à ces recherches un point de départ physique solide.

VU ET APPROUVÉ.

Le 17 Janvier 1922,

ANDRÉ BROCA.

Vu : *Le Doyen,*

ROGER.

Vu et permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie de Paris ; APPELL.

BIBLIOGRAPHIE

PHYSIQUE

Traité généraux :

CURIE. — Œuvres (1908).

M^{me} CURIE. — Traité de radioactivité, 2 vol. (1910).

SODDY. — The Chemistry of the radio-éléments (1915).

Mémoires :

- (1) ADAMS. — On water radioactivity. — *Philosophical Magazine* (1903).
- (2) ALLEN et BLYTHSWOOD. — Radioactive gas in mineral springs. — *Nature* T. 63 (1903) et Tome 69 (1904).
- (3) BARROIS. — Note sur la radioactivité des eaux et des boues de Saint-Amand (Nord). — *Echô médical du Nord* 15 (1911).
- (4) BATELLI, OCCHIANELLI et CHELLA. — Studie di radioattività. — *Il nuovo Cimento* 12 (1906).
- (5) BOUCHARD et DESGREZ. — Sur la composition des gaz qui se dégagent des eaux minérales de Bagnoles-de l'Orne. — *C. R.* 1896.
- (6) BERNINI. — Radioactivité des gaz de San Saturnino. — *Nuovo Cimento* 1911.
- (7) BERTIER. — La radioactivité des eaux d'Aix-les-Bains. — *Congrès de Physiothérapie, Paris* (1910).
- (8) BESSON. — Radioactivité des eaux d'Uriage-les-Bains (Isère). — *C. R.* (1908).

- (9) BLANC. — Sur la radioactivité des eaux minérales. — *Phil. Mag.* 1905.
- (10) BOLTWOOD. — Sur la radioactivité des eaux naturelles. — *American Journal of Science* (1904).
- (11) BORGMANN. — Sur la radioactivité de certaines boues médicamenteuses russes. — Communication à la Section de Physique de la *Société physico-chimique russe* (1904).
- (12) BROCHET (A.). — Nouvelles déterminations de la radioactivité des eaux thermales de Plombières. — *C. R.* 150 (1910).
- (13) BROCHET (A.). — Radioactivité de quelques sources sauvages des Vosges. — *C. R.* 150 (1910).
- (14) BROCHET (A.). — Relation entre la radioactivité et la richesse en extrait sec des eaux thermales de Plombières. — *C. R.* 150 (1910).
- (15) BROCHET (A.). — La radioactivité des sources thermales de Plombières et des Vosges. — *Annales des Mines* (1910).
- (16) BUMSTEAD et WHEELER. — Note on a radioactive gas in surface water. — *American Journal of Science* (1903).
- (17) COUZEFEYTE. — De la radioactivité de la source Vigeurie (Ax). — *Thèse* (1913) *Toulouse*.
- (18) M^{me} Pierre CURIE. — Les radioéléments et leur classification. — *Le Radium* (1914).
- (19) CURIE et LABORDE. — Sur la radioactivité des gaz qui se dégagent des eaux des sources thermales. — *C. R.* (1904) et (1906).
- (20) DIENERT et BOUQUET. — Radioactivité des sources de l'Avre et du Breuil. — *C. R.* (1906).
- (21) DIENERT et GUILLERD. — Radioactivité des sources de la Voulzie, du Durteint et des bassins environnants près Provins. — *Le Radium* 7 (1910).

- (22) DUANE et LABORDE. — Sur les mesures quantitatives de l'émanation du radium. — *Le Radium* 1910.
- (23) EBLÉR et FELLNER. — Contribution à l'étude de la radioactivité des sources minérales. — *Zeitschr. f. Anorg. Chemie* 27 (1911).
- (24) ELSTER et GEITEL. — Nouvelles recherches sur la radioactivité des sédiments. — *Physik Zeitschr* 1905.
- (25) EVE. — Sur la quantité de radium et d'émanation présente dans l'eau et les gaz des sources Caledonia près Ottawa. — *Trans. of the Roy. Soc. of Canada* 4 (1910).
- (26) FRENKEL. — Hororadioactivité des gaz thermaux. — *Gazette des Eaux* 1913.
- (27) GIURGEA. — Recherches sur la radioactivité des eaux minérales de Roumanie. — *Bull. Sect. Sc. Acad. Roum.* (1914).
- (28) HEINRICH. — Sur la radioactivité des gaz des eaux thermales de Wiesbaden. — *Zeit. f. Elektrochemie* (1909).
- (29). HURMUZESCU et PATRICIU. — La radioactivité de quelques eaux minérales de Roumanie. — *Congrès de Bruxelles* (1910).
- (30) ISITANI et YAMAKAWA. — Radioactivité des sources minérales de Taïwan. — *Proc. Tokio Math. Phys. Soc.* (1912).
- (31) JANSSEN. — Recherches sur la radioactivité de quelques sources danoises. — *Gaz. des Eaux* (1910).
- (32) LABORDE. — Radioactivité des eaux minérales. — *Le Radium* (1904).
- (33) LABORDE et LÉPAPE. — Étude de la radioactivité des sources de Vichy et de quelques autres stations. — *C. R.* (1912).
- (34) LÉPAPE. — Spécialisation des eaux de Sail-les-Bains dans le traitement des dermatoses. — Communication du D^r Parmentier au Congrès de Monaco (1920).

- (35) LESTER. — The radioactive properties of the mineral springs of Colorado. — *American Journal of Science* (1918).
- (36) LUDEWIG. — Sur le résultat de mesures courantes sur les sources radioactives de Brambach. — *Phys. Zeitschr* (1921).
- (37) MACHE et MEYER. — Sur la radioactivité des sources autrichiennes. — *Congrès de radiologie de Liège* (1905).
- (38) MASSOL. — Sur la radioactivité des eaux therminérales d'Uriage. — *C. R.* (1910).
- (39) MASSOL. — Sur la radioactivité des eaux therminérales d'Ussan (Ariège). — *C. R.* (1910).
- (40) MOUREU. — Recherches sur les gaz rares des sources thermales, leur enseignement concernant la radioactivité et la physique du globe. — *J. de Chimie et Phys.* T. XI.
- (41) MOUREU et LEPAPE. — Sur la radioactivité des sources thermales de Bagnères-de-Luchon. — *Annales des Mines* (1909).
- (42) MOUREU et LEPAPE. — Sur quelques mélanges gazeux naturels particulièrement riches en Helium. — *C. R.* (1912).
- (43) MUNOZ DEL CASTILLO et DIAZ DE RADA. — La carte de la radioactivité minérale de l'Espagne en 1908. — *Lab. de Rad. de Madrid* (1909).
- (44) PERRET et JACQUEROD. — Recherches sur la radioactivité des eaux neufchateloises et zeelandaises. — *Arch. des Sciences Phy. et Nat.* (1918).
- (45) PINTO. — Première contribution à l'étude de la radioactivité des eaux minérales de Portugal. — *Congrès de Radiologie, Bruxelles* 1910.
- (47) PIUTTI. — L'Helium dans les minéraux de Glutinium. — *Le Radium* 1913.

- (48) RAMSAY. — Rapport sur les eaux minérales de Bath. — *Chemical News* 1912.
- (49) RAMSEY. — The variation of the emanation content in certain springs. — *Phil. Mag.* 1915.
- (50) SATTTERLY. — Sur la teneur en émanation des eaux du Cam, de l'eau de source de Cambridge et de certaines variétés de charbon. — *Proc. Camb. Phil. Soc.* 1910.
- (51) SARASIN, GUYE, MICHEL. — Radioactivité de l'eau de Lavey. — *Archives des Sc. Phy. et Nat.* (1908).
- (52) SCHMIDT H. W. — Sur une méthode simple de mesure de la teneur des liquides en émanation. — *Phys. Zeitsch.* (1905).
- (53) SCHMIDT. — Sur la radioactivité de quelques sources du Taunus. — *Physik. Zeit.* (1905).
- (54) SCHMIDT et KURZ. — Radioactivité des sources dans la région du Grand Duché de Hesse. — *Phys. Zeitschrift.* 1905.
- (55) SCHIFFNER. — Radioaktive Wasser in Sachsen (Freiberg). (1908 et 1909).
- (56) SCHWEITZER. — Sur la radioactivité des sources minérales de la Suisse. — *Archives des Sc. Phys. et Nat.* 1910.
- (57) SCHRADER. — Radioactivity of springs near Williamstown, Massachusetts. — *Physical Review* (1914).
- (58) SCHRADER. — Radioactivity of the water at hot springs, Arkansas and Saratoga springs, New York and other points in America. — *Radium* (1915).
- (59) SOKOLOW. — Sur la radioactivité de quelques eaux minérales, des boues et des terres de la Russie. — Mémoire publié en Russe, analysé dans le *Radium* 1905.
- (60) STEICHEN. — The variation of the radioactivity of the hot springs at Tuwa. — *Phil. Mag.* 1916.

- (61) STRUTT. — On radioactivity of various materials.
— *Phil. Mag.* 1904.
- (62) THOMSON J. J. — Experiments on induced radioactivity in air and on the electrical conductivity produced in-gases then they pass trough water. — *Phil. Mag.* 1902.
- (63) VICENTINI et LEVI DI ZARA. — Etude sur la radioactivité des produits des sources thermales euganéennes.
— *Atti del reale Istituto Veneto di scienze lettere ed arti* (1904,1905).
- (64) VON DER BORNE. — L'émanation dans les eaux de source du tunnel du Simplon. — *Jahr. der Radioaktivitat und Elektronik* (1905).
- (65) VON SURY. — Über die Radioaktivität einiger schweizerischer Mineralquellen. — *Inaug. Diss. Freiburg (Schweiz)*. (1908).
- (66) WEIDIG. — Radioaktive Quellen von ganz einzigartig höher Aktivität bei Brambach im Sächsischen Vogtlande.

BIOLOGIE

La bibliographie de la radioactivité appliquée à la biologie se trouve dans :

Les conférences de Radiumbiologie faites à l'Université de Gand en 1913. — Severeyns Editeur Bruxelles.

Dans cette bibliographie ne se trouve que la liste des travaux dont il est question dans notre travail.

Traités généraux :

Sympathique et glandes endocrines (Collection Sergent). (1921).

GLEY. — Traité de Physiologie (1913).

Mémoires :

(67) BARLOW. — Quelques effets biologiques de faibles quantités de radium. — *Archives of Radiology and Electrotherapy* (1919).

(68) BROCA. — Rapports sur les dangers des radiations pénétrantes et les moyens de les éviter. — *Bull. de l'Acad. de Médecine* (1921).

(69) CURIE, BOUCHARD et BALTHAZARD. — Action physiologique de l'émanation du Radium. — *C. R. T.* 138 (1904).

(70) FRENKEL. — Hororadioactivité des gaz thermaux. — *Gazette des Eaux* (1913).

- (71) JOLY. — Cures thermales et glandes endocrines. (Discussion de la communication de Léopold Levi). — *Société de Médecine de Paris*, 12 Mars 1920.
- (72) JOLY. — Bagnoles de l'Orne (1909), Paris.
- (73) KEMEN. — Résultats obtenus par les bains radioactifs de Kreuznach. — *Ass. des Médecins allemands*. Cologne (1908).
- (74) Léopold LEVI. — Cures thermales et glandes endocrines. — *Société de Médecine de Paris* 1920.
- (75) MESERSNITZKY. — Contribution à l'étude de la décomposition des purines par l'action de l'émanation du Radium. — *Le Radium* 1912.
- (76) REGAUD. — Fondements rationnels, indications techniques et résultats généraux de la radiothérapie des cancers. — *Congrès international de Chirurgie*, Paris 1920.
- (77) ROGER. — Action des extraits d'organes sur la pression sanguine. — *Presse Médicale* (1921).
- (78) SARVONAT et REBATTU. — Action de l'émanation du Radium sur le métabolisme de l'acide urique. — *Journal médical français* (1913).
-

Table des Matières

INTRODUCTION.....	11
PREMIERE PARTIE	
<i>La Radioactivité des Eaux Minérales.....</i>	15
CHAPITRE PREMIER. — Quelques propriétés des corps radioactifs.....	15
CHAPITRE II. — Histoire de la radioactivité des eaux minérales.....	30
DEUXIEME PARTIE	
<i>Etude de la radioactivité des Eaux de Bagno- les-de-l'Orne</i>	45
CHAPITRE PREMIER. — Historique : Dispo- sitif expérimental.....	45
CHAPITRE II. — Recherche et dosage des corps radioactifs dissous dans l'eau de la Grande Source.....	50
CHAPITRE III. — Etude des gaz dissous dans l'eau de la Grande Source.....	65
CHAPITRE IV. — Action de la pluie.....	72
CHAPITRE V. — Radioactivité et géologie..	83
CHAPITRE VI. — L'Emilium.....	87
TROISIEME PARTIE	
<i>La radioactivité des Eaux Minérales agent thérapeutique</i>	93
Conclusions.....	103
Bibliographie	107

Imprimerie de " *L'Expansion Scientifique Française* "

23, rue du Cherche-Midi, PARIS
